

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování



Návrh velkoobjemové zavazadlové police

Design of Large Luggage Rack

Student:

Jakub Šajtar

Vedoucí:

doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Ostrava 2020

Anotace

ŠAJTAR J. *Návrh velkoobjemové zavazadlové police*: bakalářská práce Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020 Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem velkoobjemové zavazadlové police pro uložení šesti zavazadel. V úvodní části práce se zabývám různými současnými způsoby uložení zavazadel ve vlacích. Poté vytvářím tři návrhy polic, ze kterých vybírám finální návrh. Následně popisuji jeho upevnění ve vozu, vybírám materiál a podrobně popisuji jednotlivé části. Finální návrh podrobím pevnostní analýze a zkontroluji jeho uchycení s vozem.

Annotation

ŠAJTAR J. *Design of a Large Luggage Rack*: Bachelor's Thesis Ostrava: VŠB–Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020 Thesis Head: doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.

The bachelor's thesis deals with the design of a large luggage rack for storing total of six pieces luggage. In the introductory part of the work I deal with various current ways of storing luggage in trains. Then I create three shelf designs, from which I select the final design. Subsequently, I then describe its mounting in the car, select the material and describe the individual parts in detail. I will subject the final design to strength analysis and check its attachment to the car.

Obsah

1	Zavazadlová úložiště ve vlaku.....	7
2	Konstrukční návrhy velkoobjemové police.....	17
2.1	Výběr výsledného návrhu.....	22
3	Popis konstrukčního návrhu velkoobjemové police.....	23
3.1	Volba materiálu.....	23
3.2	Uchycení velkoobjemové police k železničnímu vozu.....	24
3.3	Popis jednotlivých částí vybraného návrhu.....	27
4	Stanovení zatížení dle ČSN EN 12663-1+A1	32
4.1	Souřadnicový systém vozu.....	32
4.2	Hodnoty gravitačního zrychlení pro kategorii P – II	32
5	Pevnostní analýza	33
5.1	Stanovení zatížení od zavazadla.....	33
5.2	Nastavení parametrů v pevnostní analýze	34
5.3	Výsledek analýzy	37
5.4	Výpočet bezpečnosti	44
6	Výpočet uchycení velkoobjemové police.....	45
6.1	Stanovení velikosti zatížení dle normy ČSN EN 12663-1+A1	45
6.2	Spojení uchycovací konzoly s C – drážkou	47
6.3	Spojení mezi uchycovací konzolou a policí.....	49
6.4	Spojení mezi policí a podlahou vozu	51
7	Závěr.....	53
8	Poděkování	54
9	Seznam použité literatury	55
10	Seznam příloh.....	57

Seznam zkratek a použitých symbolů

Zkratka	Jednotka	Popis
F_X	[N]	Zatížení od zavazadla v ose X
F'_Z	[N]	Zatížení od zavazadla s jedním gravitačním zrychlením v ose Z
F'_{Z1}	[N]	Rozložené zatížení F'_Z působící rovnoběžně s nosnou částí
F'_{Z2}	[N]	Rozložené zatížení F'_Z působící rovnoběžně s nosnou částí
F_Y	[N]	Zatížení od zavazadla v ose Y
F_{Y1}	[N]	Rozložené zatížení F_Y působící rovnoběžně s nosnou částí
F_{Y2}	[N]	Rozložené zatížení F_Y působící kolmo na nosnou část
F_Z	[N]	Zatížení od zavazadla v ose Z
F_{Z1}	[N]	Rozložené zatížení F_Z působící rovnoběžně s nosnou částí
F_{Z2}	[N]	Rozložené zatížení F_Z působící kolmo na nosnou část
R_{1X}	[N]	Reakce ve spojích police v ose X
R_{1Y}	[N]	Reakce ve spojích police v ose Y
R_{1Z}	[N]	Reakce ve spojích police v ose Z
R_{2X}	[N]	Reakce ve spojích C – drážek v ose X
R_{2Y}	[N]	Reakce ve spojích C – drážek v ose Y
R_{2Z}	[N]	Reakce ve spojích C – drážek v ose Z
D_1	[mm]	Malý průměr závitu matice
P	[mm]	Stoupání závitu
$R_e / R_p 0,2$	[MPa]	Mez kluzu
F_o	[N]	Síla předpětí
F_T	[N]	Třecí síla
F_Z	[N]	Utahovací síla na šroub
F	[N]	Síla
S	[mm ²]	Průřez
M_k	[Nmm]	Krouticí moment
W_k	[mm ³]	Průřezový modul v krutu
R_m	[MPa]	Pevnost v tahu
E	[GPa]	Modul pružnosti
$R_{v,k}$	[kN]	Dovolené zatížení ve střihu ocel–dřevo silná deska
$R_{a,k}$	[kN]	Dovolené zatížení v tahu ocel–dřevo silná deska

m_z	[kg]	Hmotnost zavazadla
m_p	[kg]	Hmotnost konstrukce police
g	[m·s ⁻²]	Gravitační zrychlení
d	[mm]	Velký průměr závitu
d_2	[mm]	Střední průměr závitu
d_3	[mm]	Malý průměr závitů
f_z	[–]	Součinitel tření v závitu
k	[–]	Bezpečnost proti prokluzu spojovaných součástí
k_s	[–]	Statická bezpečnost
p_D	[MPa]	Dovolený měrný tlak na závitu
f	[–]	Součinitel tření spojovaných součástí
h	[mm]	Výška matice
z	[–]	Počet závitů v matici
d_{1v}	[mm]	Jmenovitý průměr vrutu
d_{2v}	[mm]	Průměr jádra vrutu
d_{pv}	[mm]	Průměr předvrtání
τ_k	[MPa]	Napětí v krutu
σ_t	[MPa]	Napětí v tahu
σ_{red}	[MPa]	Redukované napětí
σ_{maxo}	[MPa]	Maximální napětí ocelových dílů
σ_{maxp}	[MPa]	Maximální napětí plastových dílů
α	[°]	Úhel sklonu zavazadla
β	[°]	Úhel profilu závitu
ψ	[°]	Úhel stoupání závitu
φ'	[°]	Redukovaný třecí úhel
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota
μ	[–]	Poissonovo číslo

Úvod

Tato bakalářská práce vznikla ve spolupráci se společností ŠKODA VAGONKA a.s., která se zabývá vývojem a výrobou kolejových vozidel pro osobní dopravu elektrických jednotek. Historie firmy začíná v roce 1900 založením firmy Staudinger Waggonfabrik A.G. na výrobu železničních vagonů v Butovicích u Studénky. Od té doby firma prošla několika důležitými změnami. Největší změny přišly v roce 2001, kdy po změně majitele se oddělení výroby osobních kolejových vozidel přemístilo ze Studénky do Ostravy a v roce 2005 se ŠKODA VAGONKA a.s. začlenila do skupiny Škoda Transportation.

Cílem v této bakalářské práci je navrhnout konstrukční řešení velkoobjemové police pro zavazadla s ohledem na požadavky zákazníka, ale i s ohledem na bezpečí cestujících a jejich zavazadel.

Požadavky zákazníka na velkoobjemovou polici jsou, aby bylo možné do ní uložit šest zavazadel o maximálních rozměrech jednoho zavazadla 90x60x40 cm a hmotností 30 kg. Já se pokusím ve své práci vytvořit konstrukční návrh, který bude mít nízkou hmotnost a zároveň bude pevnostně odolávat zatížením vznikajících na polici. U návrhu se budu snažit vytvořit bezpečnostní zábrany, které budou udržovat zavazadla v polici. Díky těmto bezpečnostním zábranám se zabrání k poškození zavazadel během jízdy.

Poté co budu mít hotový konstrukční návrh police jej podrobím pevnostní analýze. Tato analýza bude simulovat zatížení police vznikající při jejím provozu ve vlaku. Na stejné podmínky budu kontrolovat i spojení mezi polici a vozem. Tuto kontrolu nebudu ovšem provádět v počítačové simulaci jako celou konstrukci, ale budu ji provádět analyticky.

1 Zavazadlová úložiště ve vlaku

Zavazadlová úložiště ve vlacích se nejčastěji skládají z různých druhů polic, skříněk nebo z vyhrazených prostorů pro uložení zavazadel během jízdy. Hlavním důvodem používání zavazadlových úložišť ať už ve vlacích nebo v jiných dopravních prostředcích je bezpečnost a komfort. Díky nim mají cestující během cestování možnost, kde umístit svá zavazadla, která nenechávají v uličce mezi sedadly nebo na sedadlech. Ty pak neohrožují bezpečnost přepravy a nejsou ostatním cestujícím na obtíž. Dalším důležitým účelem zavazadlových úložišť je bezpečné uložení zavazadel, které zabraňuje možnosti k jejich poškození po dobu jízdy.

a) Vlaková police

Vlaková police patří k nejčastěji používaným možnostem určeným k uložení zavazadel. Jejich využití je v každém vlaku určeného k přepravě cestujících. Vlakové police jsou vyráběny v provedení podélném na obrázku č. 1.1 i příčném na obrázku č. 1.2, jako jednoduché nebo dvojité. Příčné police je možné vyrábět ještě jako jednostranné nebo oboustranné. Obě varianty polic se nacházejí nad sedadly cestujících a jsou určeny pro malé, střední tašky, batohy a kufry do velikosti batohu. Podélná police se využívá ve vlacích s velkoprostorovým interiérem, kde je umístěna na každé straně vozu. Příčná police je využívána v menších prostorech, jako je kupé.

Nosné prvky vlakové police jsou složeny z rámu, konzol a profilů. Z materiálu jako korozivzdorná ocel, uhlíková ocel a hliník. Nosná část je obvykle pod mírným sklonem, aby se zabránilo vypadnutí zavazadla z police. Výplň police tvoří tabule z bezpečnostního skla, plastové výlisky případně profily ze stejného materiálu jako nosných prvků. Výplň police by měla umožnit přímý výhled na zavazadla, aby cestující měli přímý kontakt se svým zavazadlem a nezapomněli jej při opouštění vozu. Připevnění police k vozu je zajištěno jejich přišroubováním ke stěně vozu.

Police je často vybavena posuvnými háčky pro zavěšení oděvů. Další dodatečnou výbavu police může tvořit zabudována osvětlovací tělesa, ty ocení obzvláště cestující, kteří si cestu rádi zkracují čtením.



Obrázek č. 1.1 - Podélná vlaková police [1]



Obrázek č. 1.2 - Příčná vlaková police [2]

Výhodou vlakové police je poskytnutí dostatku místa na uložení zavazadla pro každého cestujícího ve své blízkosti. Díky jejich značnému využití ve vlacích se cestující mohou vždy spolehnout na tuto možnost.

Největší nevýhodou vlakové police je pro cestující zvedání zavazadla nad hlavu. Tu může vzniknout problém, kdy je cestující menšího vzrůstu a není schopen zvednout zavazadlo, tak vysoko, aby ho dal do police. Při cestování s těžkým nebo rozměrnějším zavazadlem se tato možnost nejeví, taky jako nejvhodnější.

b) Velkoobjemové police

Velkoobjemové police jsou určeny pro rozměrnější a těžší zavazadla. U jednopodlažních vozů jsou k dispozici na jednom konci vozu poblíž vchodových dveří nebo mezi sedadly uprostřed vozu. U dvojpodlažních vozů jsou tyto police umístěny pouze na nižší úrovni. Nejčastěji mají dvě až tři patra. Spodní patro je určeno pro ty nejtěžší zavazadla a může být součástí samotné police nebo jej může tvořit podlaha vozu, u té však může dojít k poškrábání při ukládání zavazadel. Příklad velkoobjemové police je na obrázku č. 1.3.

Konstrukce velkoobjemové police je tvořena z rámu a úložné části. Rám je obvykle vyrobený z kruhových korozivzdorných trubek, které jsou k sobě svařeny nebo přišroubovány. U některých polic mohou být stěny vozu samotným rámem police, to umožní snížení hmotnosti a výrobních nákladů. Boční stěny rámu jsou vyplněny tabulemi z bezpečnostního skla, dřevěnými nebo plastovými panely. Úložnou část nejčastěji tvoří profily vytvářející rošt případně panel z pevného materiálu. Police se připevňuje do stěny nebo podlahy vozu eventuálně jejich kombinací. Připevnění police ke kleci vozu je zajištěno pomocí šroubů a matic.

Police můžou být vybaveny zavazadlovým zámekem, to je vhodné u polic, které se nacházejí na koncích vozu, kde cestující nemají přehled o svém zavazadle a nemusí se obávat z jeho odcizení. Pokud nosné části nejsou pod mírným sklonem, tak další možnou výbavou polic může být bezpečnostní zábrana, ta zabrání během jízdy k vypadnutí zavazadel z police. Může ji tvořit tyč nebo popruh.



Obrázek č. 1.3 - Velkoobjemová police [3]

K přednostem velkoobjemových polic patří rozměrný úložný prostor. Na rozdíl od vlakových polic se nemusí zavazadla zvedat nad hlavu a manipulace s nimi je komfortnější i při manipulaci s těžkými zavazadly.

Nedostatkem velkoobjemových polic je jejich umístění ve vozu. Police umístěny v blízkosti vstupních dveří jsou mimo výhled cestujících, kteří nemají přehled o svých zavazadlech. Dále takto umístěny police během ukládání zavazadel zdržují ostatní cestující i odjezd vlaku. Oproti tomu police umístěny mezi sedadly umožňují cestujícím přímý výhled na jejich zavazadla, ale pro dopravce to znamená snížení počtu sedadel a tím kapacitu vlaku. Velikost úložného prostoru je omezená a na vytížených spojích nemusí zbýt na všechny cestující místo k uložení zavazadla.

c) Prostor pod sedadlem

Cestující v oblibě pro uložení zavazadel využívají prostor pod sedadly. Dále mají cestující při uspořádání sedadel proti sobě možnost využít prostor mezi sedadly na obrázku č. 1.4. I když se cestující ve vlacích spíše snaží kontaktu s podlahou vyhýbat, tak ukládání zavazadel pod a mezi sedadla je velmi účelný způsob, jelikož pomáhá využít velký nevyužitý prostor. Zároveň umožňuje cestujícímu mít zavazadlo poblíž, ovšem pravděpodobně mimo vizuální kontakt. Vizuelní kontakt se zavazadlem lze vytvořit odsazením sedadel na každé straně vlaku o půl rozteče sedadel proti sobě. Toto uspořádání umožní uložit zavazadlo mezi sedadla na druhé straně uličky a přitom ho mít stále pod dohledem.



Obrázek č. 1.4 - Zavazadlo mezi sedadly [4]

Pro cestující komfortní varianta, u které mají zavazadlo stále při sobě, a jeho uložení nevyžaduje námahu. Z pohledu dopravce je to skvělé využití velkého prostoru, který je jinak nevyužitý.

Tato možnost nemusí být vždy k dispozici, z důvodu konstrukčního řešení připevnění sedadel k vozu. Hlavní nevýhodou je kontakt zavazadla s podlahou vozu, která nemusí být vždy čistá obzvláště během deštivého počasí nebo v období zimních měsíců.

d) Zavazadlový prostor za posledním sedadlem

Tato možnost se značně využívá ve většině Japonských vlaků určených na dlouhé vzdálenosti. Patří pravděpodobně k nejpohodlnější variantě uložení zavazadla. Obvyklé místo je pro tři až čtyři velké kufry. Z bezpečnostních a komfortních důvodů mají pouze cestující sedící v poslední řadě sedadel možnost ukládat svá zavazadla do prostoru za jejich sedadla na obrázku č. 1.5.



Obrázek č. 1.5 - Zavazadlový prostor za posledním sedadlem [5]

Nejpohodlnější varianta k uložení zavazadla. Uložení zavazadla je snadné, pohodlné a cestující ho má stále při sobě. Na rozdíl od velkoobjemové police není potřeba montáž žádných součástí.

Úložný prostor dovoluje uložení maximálně čtyř větších kufrů. Tuto možnost můžou využít pouze cestující v poslední řadě, kteří při cestování s větším zavazadlem by si měli předem sedadla rezervovat.

e) Pod lůžkem

V lůžkových vozech, kde není vlaková police, je zavazadlový prostor pod spodním lůžkem na obrázku č. 1.6, které pojme dvě až šest zavazadel. Pokud už není místo pod lůžkem, tak cestující mohou dále umístit své zavazadlo pod stůl mezi lůžky.



Obrázek č. 1.6 - Uložení zavazadla pod lůžkem [6]

Jedinou výhodou u této možnosti je využití prostoru. Naneštěstí lůžkových vozu bez vlakové police je málo, proto je tato možnost spíše ojedinělá.

Nevýhodou je omezený úložný prostor, který se obzvlášť projeví v plném kupé s šesti lůžky. Zavazadla se i zde podobně jako u uložení zavazadel pod sedadlem nacházejí na podlaze.

f) Uzamykatelné skříňky

Uzamykatelné skříňky na obrázku č. 1.7 patří k nejméně se vyskytujícím možnostem k uložení zavazadel ve vlaku. Jejich použití je třeba v Japonských luxusních vyhlídkových vlacích Shimakaze, kde slouží k úschově menších a středních zavazadel. Skříňky jsou k dispozici v blízkosti vchodu do vozu.



Obrázek č. 1.7 - Uzamykatelné skříňky [7]

Pro cestující nejbezpečnější způsob úschovy zavazadla, kdy k nim mají neustálý přístup.

Počet a velikost skříněk je omezený a ne vždy se dostane na všechny cestující. Pro dopravce je tato varianta nevýhodná, protože vyžaduje vyhrazený prostor ve voze.

g) Univerzální prostory

Univerzální prostor na obrázku č. 1.8 je určený pro tělesné postižené osoby na invalidním vozíku, kočárky, jízdní kola a objemová zavazadla. Nachází se po stranách vozu v blízkosti dveří a toalety. Na stěnách jsou umístěny sklopné sedačky a podélné vlakové police. Při kratších cestách je lepší cestující s velkým zavazadlem nechat na sklopných sedadlech bez ukládání zavazadel do polic, aby nedocházelo k zbytečnému zdržování při nástupu a výstupu.



Obrázek č. 1.8 - Univerzální prostor [8]

Tato možnost dovoluje jako jediná přepravovat více různých druhů věcí a osob s využitím jednoho prostoru. K tomu disponuje velkým prostorem.

Nevýhodou je zmenšení sedadlového prostoru tím i maximální kapacitu pasažéru ve vlaku.

h) Zavazadlový vůz

Funkce zavazadlového vozu je přeprava zavazadel a velkých věcí, které cestující přepravují a jsou příliš velké nebo těžké, aby mohly být přepravovány ve vlaku. Zavazadlové vozy často v minulosti konaly dvojí povinnost, protože železnice hledaly způsob jak zefektivnit provoz a provozovatelnost osobních vlaku levněji. Proto v druhé polovině 19. století zavazadlové vozy začaly nahrazovat vozy kombinované, které kromě zavazadlového prostoru, také zahrnují část sedadel pro cestující a v průběhu let se staly součástí osobních vlaků. V dnešní době zavazadlové vozy zůstaly jádrem osobních vlaků, alespoň pro dlouhé jízdy, které využívají americké vlakové soupravy Amtrak.

Vozidlo je okamžitě rozeznatelné podle jedné nebo dvou velkých posuvných dveří na obou koncích. Interiér vozu na obrázku č. 1.9 tvoří prázdný prostor s držáky na zavazadla

umístěnými po stranách vozu. Zavazadla se obvykle ukládají na podlahu, kde se zajišťují popruhy, aby během cesty nedošlo k jejich poškození. Rozměrnější věci jako jízdní kola se připevňují do držáků.



Obrázek č. 1.9 - Úložný prostor zavazadlového vozu [9]

Disponuje velkým úložným prostorem, který poskytuje uložení rozměrnějších zavazadel. Zavazadla jsou během jízdy v bezpečí, protože je vůz uzavřen a nikdo k nim nemá přístup mimo vlakového personálu.

Cestující nemají přístup ke svým zavazadlům během jízdy. Samotnou nevýhodou vozu je jeho omezení na přepravu pouze zavazadel a nikoliv i cestujících.

2 Konstrukční návrhy velkoobjemové police

V této kapitole se zaměřuji na návrh konstrukčního řešení velkoobjemové police, do které bude možno uložit šest zavazadel. S maximálními rozměry jednoho zavazadla 90x60x40 cm a hmotností 30 kg. Rozhodl jsem se pro vytvoření tří různých návrhů polic, každý s odlišným způsobem polohy uložených zavazadel a s odlišným způsobem zajištění zavazadel proti vypadnutí z police. U všech návrhů použiji podlahu vozu jako spodní patro police pro uložení zavazadel. Tím se mi podaří snížit celková hmotnost polic a zároveň jejich výrobních nákladů. Na druhou stranu se může od těžkých zavazadel poškodit podlaha vozu.

Návrhy polic mají společnou konstrukci, kterou tvoří vždy dva boční rámy spojené mezi sebou sešroubováním pomocí úložné části případně s dalšími prvky police. Pro tento způsob konstrukce jsem se rozhodl pro jeho malé riziko zmetkovitost, jednoduchou manipulaci během montáže. Další možnou variantou spojení jednotlivých částí police je jejich kompletním svařením mezi sebou, zde však nastává problém, kdy se u takto velké konstrukce mohou části police zkroutit a způsobit tím velkou zmetkovitost výroby.

Boční rámy jsou svařence z nerezové oceli tvořené z trubek s kruhovým profilem a výstřižky z plechů. U všech návrhů použiji upevnění polic k vozu pomocí C – drážek do boční stěny a vrutů k podlaze, které je podrobně popsána v následující kapitole 3.2.

a) Návrh č. 1

Návrh č. 1 na obrázku č. 2.1 je dvoupatrová police pro uložení zavazadel ve svislé poloze. Rozměry úložného prostoru každého patra jsou 120x90x60 cm s maximální nosností horního patra 90 kg. Hlavní části police jsou dva boční rámy, úložná část a bezpečnostní popruhy.

Boční rám je svařený z ohnutých trubek, ke kterým je v dolní části přivařen plech ve tvaru "L" s otvory pro přišroubování bezpečnostního skla. Ze spodní části rámu je k němu přivařený plech ve tvaru oválu s otvory, pro připevnění police k podlaze vozu. Na vnitřní straně uprostřed rámu jsou navařeny dva tvarované plechy, každý se dvěma otvory k nesení

a připevnění nosné části police k rámu. Ve vnitř rámu jsou přivařeny obdélníkové díly s otvorem pro přišroubování bezpečnostního skla. Na zadní straně rámu jsou přivařeny dva plechy s otvory ke spojení police a C – drážky pomocí upevňovací konzoly k boční stěně vozu.

Úložná část police je svařený rošt z trubek čtvercového profilu. Ten má v přední a zadní části navařené ohnuté trubky sloužící k zabránění vypadnutí menších zavazadel z police. Ke stejnému účelu akorát pro objemnější zavazadla slouží i bezpečnostní popruhy nacházející se ve spodní a horní části police.



Obrázek č. 2.1 - Návrh č. 1

b) Návrh č. 2



Obrázek č. 2.2 - Návrh č. 2

Konstrukční návrh č. 2 na obrázku č. 2.2 nabízí uložení zavazadel ve vodorovné poloze do tří pater. Každé patro disponuje úložným prostorem o rozměrech 80x60x90 cm s nosností 60 kg. Police se skládá z bočních rámců, úložných částí, opěrných trubek a trubkových dvojdílných T spon.

Hlavní část rámu tvoří ohnutá trubka, ke které jsou ve vnitř přivařeny trubky menšího průměru, umožňující zpevnění konstrukce rámu, uchycení úložných částí a zabránění vypadnutí zavazadel z boku police. V horní a střední části jsou trubky pod mírným sklonem zabraňující vypadnutí zavazadel. Ke spodní části rámu jsou přivařeny plechy umožňující připevnění police k podlaze vozu. Tyto plechy se v přední a zadní straně rámu liší, jak tvarově tak počtem otvorů. K zadní straně rámu jsou přivařeny plechy s otvory ke spojení police a upínacích konzol k C – drážkám v boční stěně vozu.

Úložnou část police tvoří dva plastové výlisky, které jsou přišroubovány k vnitřním trubkám bočních rámu.

V zadní části police jsou dvě opěrné trubky pro opření uložených zavazadel. Opěrné trubky jsou k bočním ráům přišroubovány pomocí trubkových dvojdiálních T spon.

c) Návrh č. 3

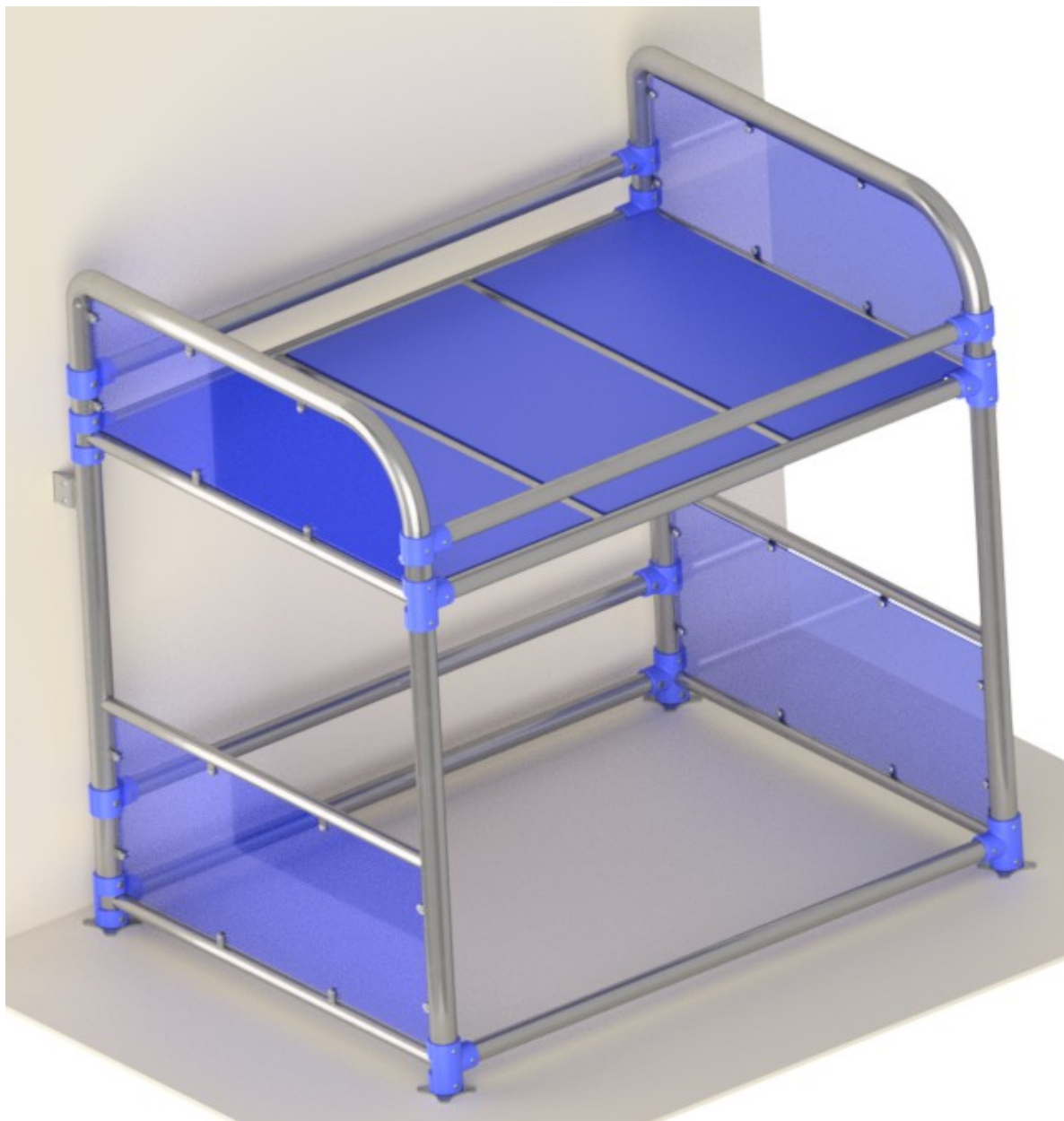
Návrh č. 3 na obrázku č. 2.3 je kombinací různých konstrukčních prvků z předchozích dvou návrhů. Na rozdíl od předchozích návrhů má tento možnost uložit zavazadla ve více různých polohách než jenom v jedné, jak to bylo u předešlých návrhů. Jako u návrhu č. 1 je úložný prostor rozdělený na dvě patra. Spodní patro nabízí úložný prostor o rozměrech 1200x900x900 cm a horní patro 1200x600x900 s nosností 90 kg. Konstrukci police tvoří boční rámy, úložná část, trubkové dvojdiální T spony a opěrné trubky.

Hlavním prvkem rámu je ohnutá trubka mezi, kterou jsou přivařeny trubky menšího průměru. Uvnitř horní a spodní části rámu jsou přivařeny plechy obdélníkového tvaru s otvorem pro přišroubování tabulí z bezpečnostního skla. Ve vnitřní straně rámu v horní části jsou přivařeny plechy s otvorem pro přišroubování plastových tabulí.

Úložná část je rozdělena do dvou částí, první část je nosný rám a druhá část jsou tři plastové tabule. Nosný rám svým tvarem připomíná písmeno "H", tvoří ho dvě boční trubky mezi, které jsou přivařeny dvě trubky menšího průměru. Nosný rám má podobně jako boční rám ve vnitř přivařené plechy obdélníkového tvaru pro připevnění plastových tabulí. Plastové

tabule jsou přišroubovány ze spodu k bočním ráům a nosnému rámu. Úložná část je k bočním ráům přišroubovaná pomocí trubkových dvojdiálních T spon.

Opěrné trubky v přední a zadní části police zvyšují tuhost celé konstrukce police a zároveň udržují zavazadla uvnitř police. K bočním ráům jsou připevněny stejně jako nosná část a to za použití trubkových dvojdiálních T spon.



Obrázek č. 2.3 - Návrh č. 3

2.1 Výběr výsledného návrhu

Pro svůj výsledný návrh jsem vybral konstrukční návrh č. 2. Rozhodl jsem se pro něj z důvodu jeho jednoduchosti oproti ostatním návrhům. K jeho přednostem patří jednoduchá konstrukce, která zaručí nízkou hmotnost. Na obrázku č. 2.4 je zobrazená vizualizace police s uloženými zavazadly.



Obrázek č. 2.4 - Vizualizace návrhu č. 2

3 Popis konstrukčního návrhu velkoobjemové police

3.1 Volba materiálu

Volba správného materiálu je velmi důležitá, neboť ovlivňuje všechny parametry police. Materiál musí mít dobré mechanické vlastnosti, aby byl schopen odolat vzniklému zatížení police a zároveň police měla nízkou hmotnost.

a) Nerezová ocel 1.4301

Pro svůj konstrukční návrh jsem se rozhodl použít nerezovou ocel na rám, spojovací součásti a opěrné části police. Nerezovou ocel volím z důvodu její vlastní pevnosti díky, které může být tenčí a proto lehčí než jiné materiály při zachování její provozní integrity. Díky tomu nerezová ocel nabízí snížení nákladů, hmotnosti a spotřeby energie. K jejím přednostem patří vzhled, trvanlivost, mechanické vlastnosti a snadné čištění. Nevýhodou nerezové oceli zůstává její vysoká cena oproti ostatním materiálům.

V mém případě musí být nerezová ocel dobře tvářitelná a vhodná ke svařování. Proto jsem se rozhodnul pro použití austenitické nerezové oceli 1.4301, která těmito vlastnostmi disponuje. Ocel je také odolná proti opotřebení, dobře leštitelná a obrobitelná.

Tabulka č. 1- Mechanické a fyzikální vlastnosti oceli 1.4301[10,11]

Ocel 1.4301		
Název	Jednotky	Hodnoty
Pevnost v tahu – R _m	MPa	500 – 720
Mez kluzu – R _p 0,2	MPa	195
Modul pružnosti – E	GPa	200
Poissonovo číslo – μ	–	0,3
Tažnost – A	%	45
Tvrdost (Brinella)	HB	160 – 210
Hustota – ρ	kg·m ⁻³	7900

b) Polyfenylsulfid (PPS)

Dle normy ČSN EN 45545-2+A1 je požadavek na protipožární odolnost materiálu v drážních vozidlech. Z tohoto důvodu se rozhodují pro použití Polyfenylsulfidu zkráceně PPS plastu s přirozenou vlastností samozhášení. Jedná se o termoplastický plast s vysokou teplotní odolností. Vyniká dobrými mechanickými vlastnostmi a chemickou odolností. Má dobrou zpracovatelnost, dá se ohýbat řezat a vrtat.

Ve svém návrhu použiji PPS plast na úložnou část, trubkové T spony, izolační a vymežovací podložky. Pro vytvoření úložné části z tohoto materiálu se rozhodují kvůli snížení hmotnosti oproti použití nerezové oceli.

Tabulka č. 2 - Mechanické a fyzikální vlastnosti Polyfenylsulfidu [12]

Polyfenylsulfid (PPS)		
Název	Jednotky	Hodnoty
Pevnost v tahu – Rm	MPa	65 – 85
Mez kluzu – Rp 0,2	MPa	50 – 80
Modul pružnosti – E	GPa	3,3
Poissonovo číslo – μ	–	0,4
Hustota – ρ	kg/m ³	1350

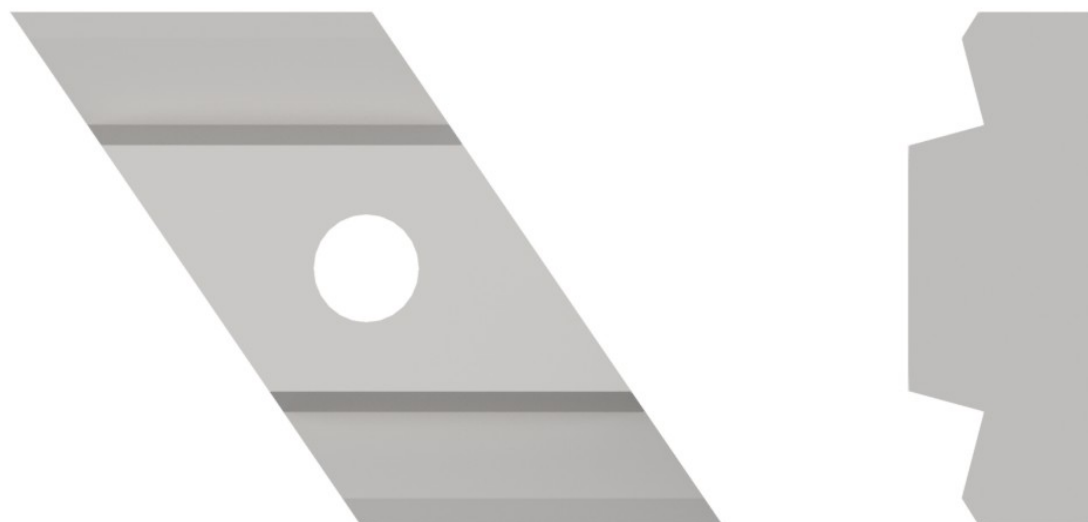
3.2 Uchycení velkoobjemové police k železničnímu vozu

Uchycení velkoobjemové police k železničnímu vozu volím kombinované spojení k boční stěně vozu a k podlaze vozu. Pro uchycení do boční stěny využiji C–drážky. K podlaze vozu uchytím polici pomocí vrutů.

a) Uchycení k boční stěně vozu

Uchycení k boční stěně vozu pomocí C – drážky je pevné spojení mezi skříní vozu a spojovanou součástí. C – drážka je integrovaný profil, který umožňuje uchycení potřebných součástí ke skříní vozu. C – drážky se mohou ke skříní vozu připevnit navařením profilu C – drážky k profilu pro skříň vozu nebo již při výrobě profilu pro skříň vozu pomocí protlačovací metody. Obě tyto metody zaručují velmi pevné spojení profilu s C – drážkou.

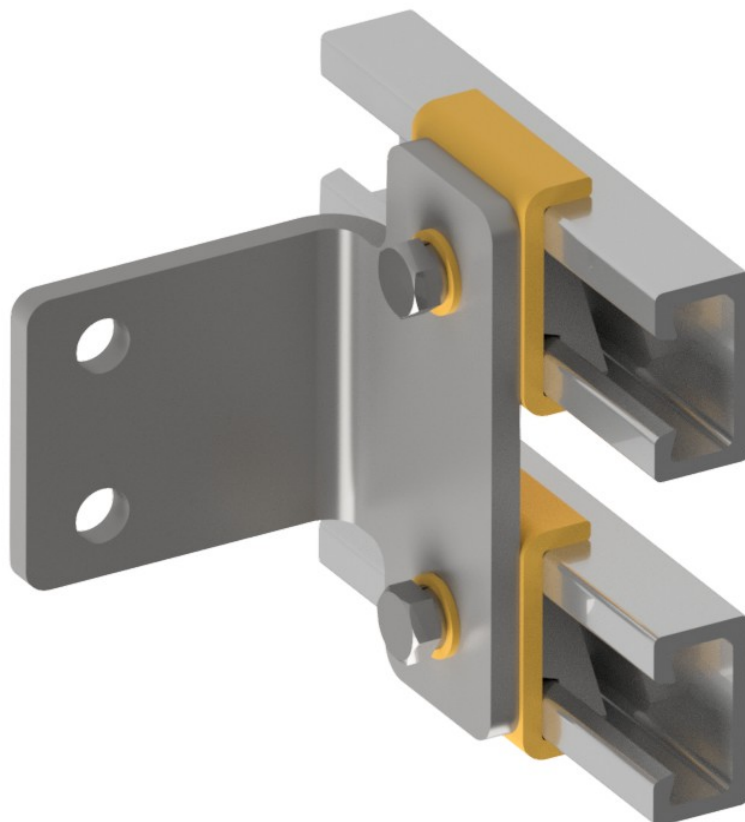
Součást připevněná k C – drážce je spojena pomocí šroubového spoje. Šroubový spoj tvoří tzv. kámen na obrázku č. 3.1, což je tvarovaná matice ve tvaru kosočtverce s průchozím otvorem se závitem uprostřed. Další prvky spoje jsou šroub se šestihrannou hlavou, pružná podložka, izolační podložka a vymezovací podložka na obrázku č. 3.2.



Obrázek č. 3.1 - Kámen

V mém případě je velkoobjemová police sešroubovaná ve dvou rovinách pomocí šesti uchycovacích konzol k osmi C – drážkám. V dolní rovině je police uchycena pomocí dvou konzol k C – drážkám. V horní rovině je zapotřebí použít čtyři upínací konzoly z důvodu velkého zatížení od zavazadel uložených v horním patře, které vzniká při brzdění a zrychlování vlaku. Police samotná je k upínacím konzolám spojena pomocí přivařených plechů k ráům a osmi šroubových spojů. Tyto šroubové spoje jsou tvořené šrouby s půlkulatou hlavou s vnitřním šestihranem a maticemi s půlkulatou hlavou s vnitřním šestihranem.

Na obrázku č. 3.2 lze vidět detail šroubového spoje pro C – drážku v dolní rovině. Kámen je v něm vložen do C – drážky a sešroubován se šroubem s šestihrannou hlavou. Mezi šroubem a kamenem se nachází sevřená uchycovací konzola, která se opírá o izolační podložku. Pod hlavou šroubu je pružná podložka společně s vymezovací podložkou.



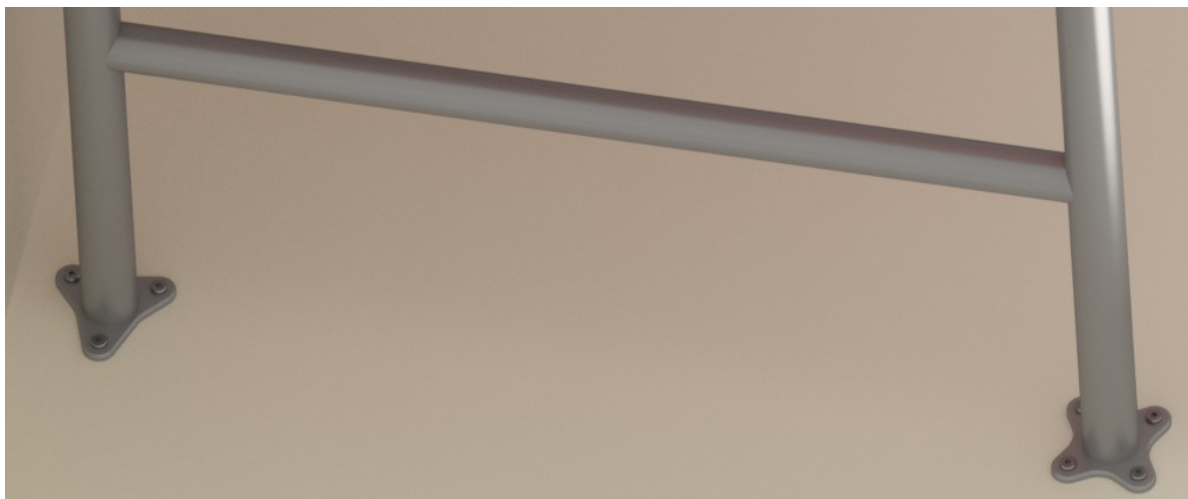
Obrázek č. 3.2 - Spoj s C – drážkami

b) Uchycení k podlaze vozu

V podlaze pod policí se nenachází žádné C – drážky, proto se rozhoduju pro připevnění police k podlaze pomocí vrutů s cylindrickou hlavou. Oproti ostatním spojovacím součástem vruty jako jediné nejsou z nerezové oceli, ale z uhlíkové oceli s povrchovou úpravou Geomet. Pro toto uchycení je nutné do podlahy předvrtat díry, do kterých se následně zašroubují vruty. Předvrtané díry pro vruty usnadní pozdější montáž police do vozu. Díky použití vrutů jsou dosedací plochy police pevně sevřeny k podlaze vozu.

V zadní části jsou dosedací plochy police přišroubovány šesti vruty, třemi na každé straně.

V přední části jsou přišroubovány osmi vruty, čtyřmi na každé straně. Větší počet vrutů v přední části jsem použil opět z důvodu vzniku zatížení police od zavazadel při brzdění a zrychlování vlaku. Proto směřuji i větší počet vrutů do vnitřní strany police. Uchycení police k podlaze vozu je viditelné na obrázku č. 3.3.



Obrázek č. 3.3 - Spoj police s podlahou

3.3 Popis jednotlivých částí vybraného návrhu

V této podkapitole se zaměřuji na podrobný popis jednotlivých částí vybraného konstrukčního návrhu velkoobjemové police.

a) Rám

Nejdůležitější a zároveň největší částí police je rám, který je možno vidět na obrázku č. 3.4. Jedná se o ocelový svařenec z šesti trubek kruhového profilu a čtyř součástí z plechu. Vnější obrys rámu tvoří ohnutá trubka Tr 50x2 mm, která je zároveň hlavním nosným prvkem celého rámu. Vrchní část trubky není rovnoběžná s podlahou vozu, ale je ohnutá pod úhlem pěti stupňů. V levé straně má vyvrtané čtyři otvory pro uchycení trubkových spon držící opěrné trubky. Z vnitřní strany jsou dva otvory vyvrtané o velikosti 6,4 mm a z vnější strany jsou vyvrtané dva otvory o velikosti 9,4 mm. Otvory leží proti sobě na dvou osách. To je z důvodu použití uchycení součástí k rámu pomocí matice s vnitřním šestihranem a šroubu. Kdy vnější průměr matice je větší než průměr šroubu a je zapotřebí dvou otvorů odlišných rozměrů.

Do vnitřního prostoru ohnutého tvaru trubky jsou přivařeny tři trubky Tr 40x2 mm a dvě trubky Tr 40x3 mm. V horní a střední části rámu jsou trubky skloněné pod stejným úhlem jako horní část vnější trubky. Spodní trubky Tr 40x3 mm v těchto částech mají vyvrtaných

deset otvorů pro přišroubování nosné části k rámu. Ze spod je vyvrtáno pět otvorů velikosti 6,4 mm a shora o velikosti 9,4 mm. Důvod je stejný jako u otvorů na vnější straně trubky.

Ke koncům rámu jsou ze spod přivařeny dva plechy o tloušťce 6 mm s otvory o velikosti 9 mm. Plechy slouží jako dosedací část rámu, v přední a zadní části se od sebe liší svým tvarem a počtem otvorů. V přední části má tvar připomínající znaménko "plus" se čtyřmi otvory. V zadní části má tvar trojúhelníku se třemi otvory. U obou případů jsou otvory vyvrtané ve vrcholech.

K zadní levé straně vnější trubky jsou přivařeny dva plechy obdélníkového tvaru tloušťky 8 mm. Plechy mají dva otvory o velikosti 9,4 mm. Plechy slouží k spojení police přes uchycovací konzolu s C – drážkou.



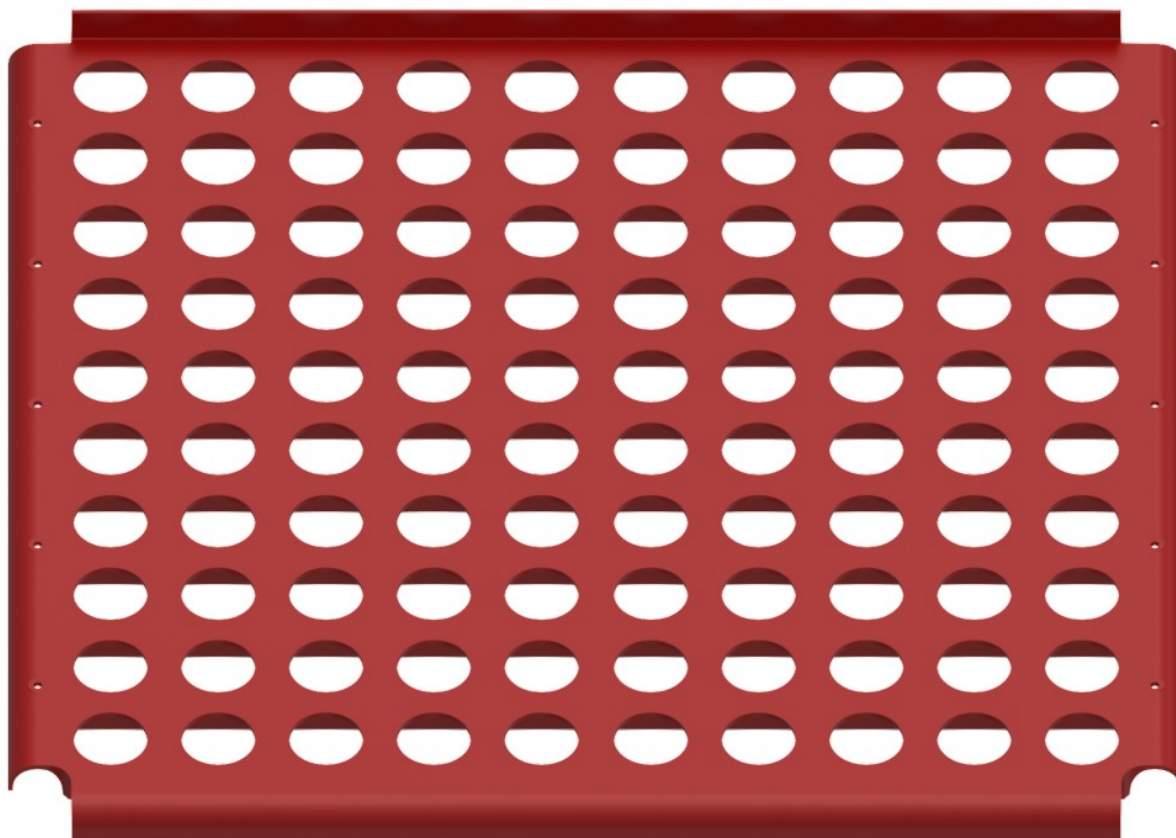
Obrázek č. 3.4 - Rám police

b) Úložná část

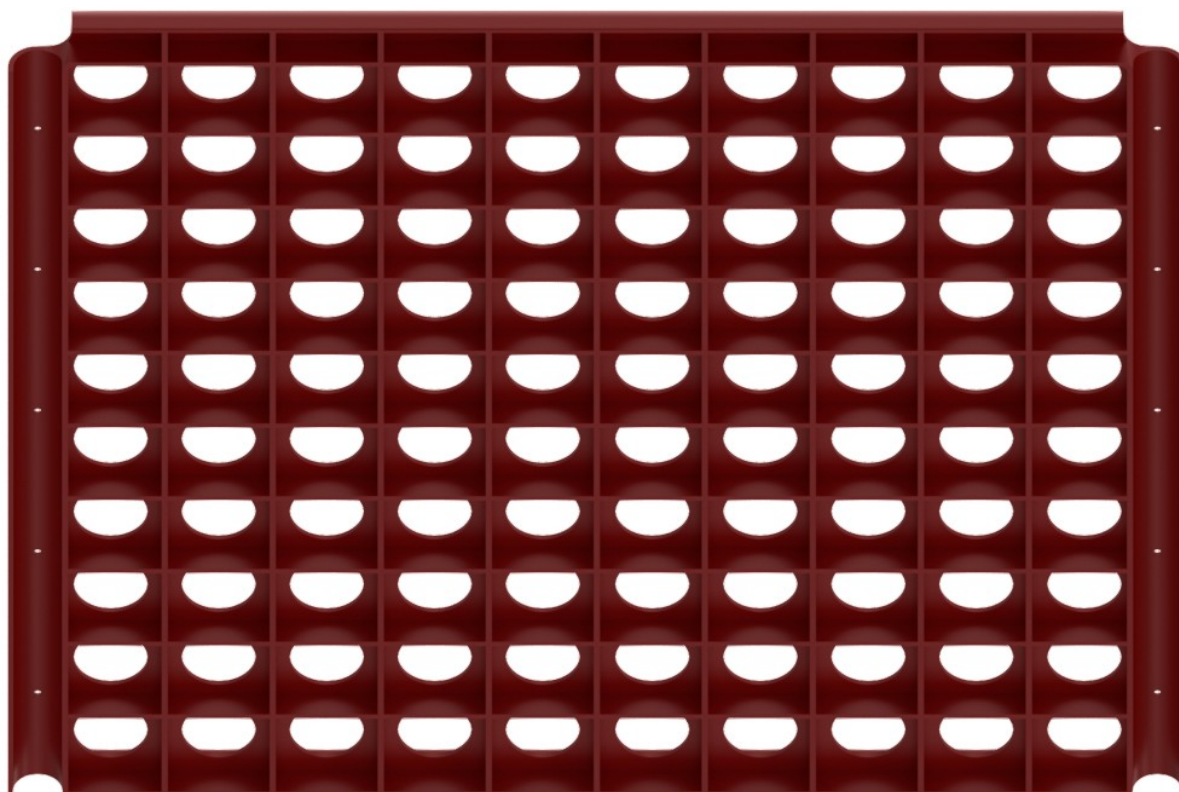
Úložnou část police tvoří plastový výlisek obdélníkového tvaru na obrázku č. 3.5 s konstantní tloušťkou stěny 5 mm. Problém u využití plastového odlitku na nosnou část je velký průhyb dílu, který vzniká uprostřed dílu od uložených zavazadel. Proto jsem se rozhodl pro vytvoření žeber ze spodní strany zobrazených na obrázku č. 3.6. Díky nim se zvýšila tuhost celého dílu a snížil se vzniklý průhyb uprostřed.

V zadní straně dílu je vytvořená zvýšená hrana pro zachytávání drobnějších předmětů, které si budou cestující ukládat do police.

Pro snížení hmotnosti a ušetření materiálu úložné části jsem zvolil vytvoření sta otvorů o průměru 40 mm v horní straně dílu. Díky těmto otvorům se mi podařilo snížit celkovou hmotnost dílu o 20%.



Obrázek č. 3.5 - Nosná část

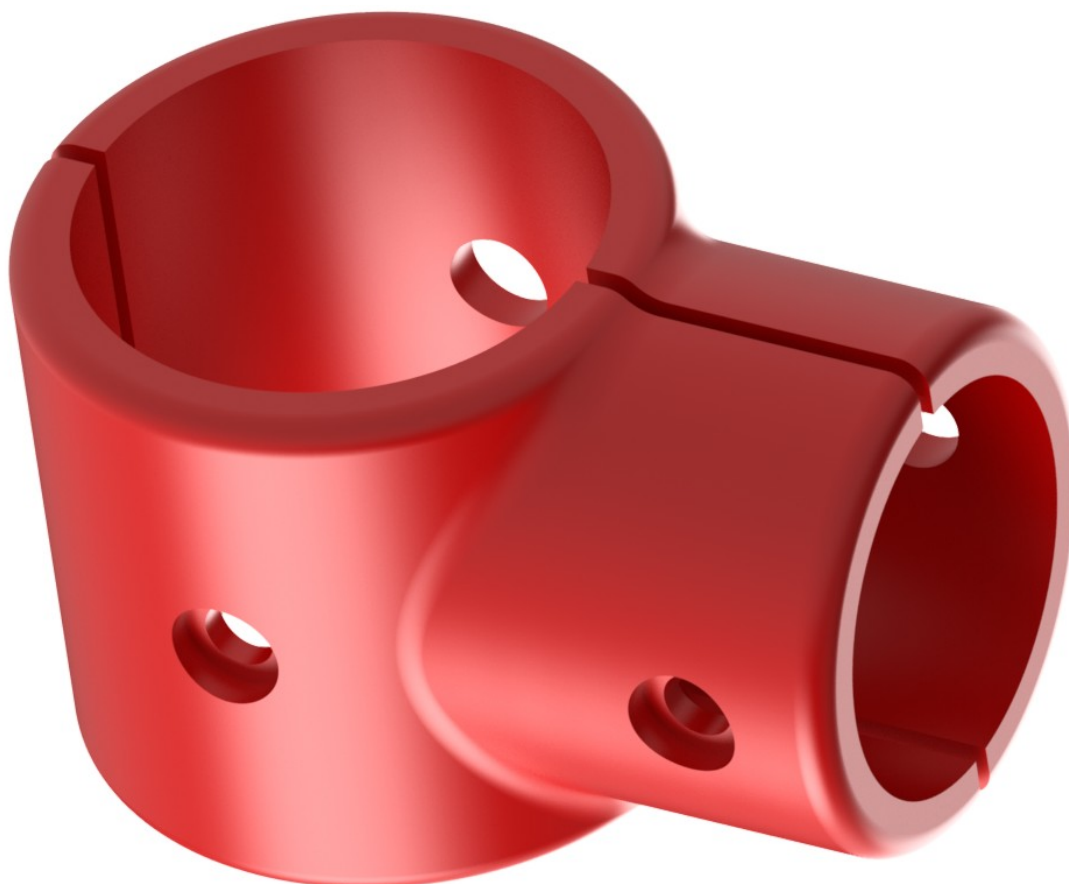


Obrázek č. 3.6 - Žebra nosné části

Ze spodní strany na bocích úložné části jsou vytvořené drážky ve tvaru "U" viditelné na obrázku č. 3.5 a 3.6. Pomocí těchto drážek se úložná část položí na vnitřní trubky bočního rámu a přišroubuje se k němu. K přišroubování je ve středu drážek vytvořeno pět děr na každé straně o velikosti 9,4 mm. V horní části je kolem děr zarovnaný povrch s horní hranou pro lepší rozložení tlaku pod hlavou matice.

c) Trubková dvojdílná T spona

Jedná se o dva plastové výlisky na obrázku č. 3.7, které pomocí dvou šroubových spojů spojí opěrnou trubku k rámu. Tloušťka stěny dílu je 6 mm. V obou dílech jsou vytvořeny díry pro tyto spoje. V levém díle jsou díry o velikosti 6,4 mm a v pravém díle jsou díry o velikosti 9,4 mm. Díry mají v horní části dílu zahlobení, aby hlava šroubu a matice dosedali na rovné ploše.



Obrázek č. 3.7 - Trubková dvojdielná T spona

d) Opěrné trubky

Opěrné trubky se nacházejí v zadní části police. Jsou to ocelové trubky Tr 40x2mm zobrazených na obrázku č. 3.8. Na obou svých koncích mají vyvrtané díry pro přišroubování k trubkovým T sponám. Z jedné strany mají díry průměr 6,4 mm a z protější strany mají průměr 9,4 mm. V polici slouží pro opření uložených zavazadel, které by jinak byly opřené o stěnu vozu.



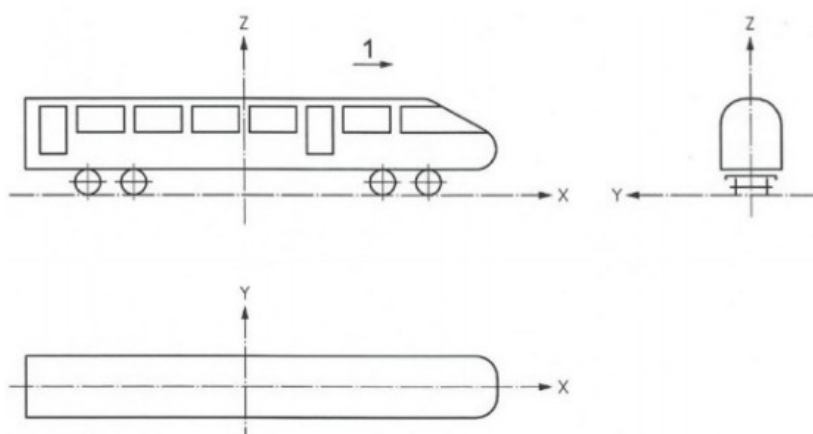
Obrázek č. 3.8 - Opěrná trubka

4 Stanovení zatížení dle ČSN EN 12663-1+A1

Při stanovení velikosti zatížení působící na polici a velikosti zatížení v místech uchycení police se budu řídit normou ČSN EN 12663-1+A1. Norma obsahuje specifikované násobky gravitačního zrychlení pro jednotlivé osy vozu. V normě je uvedeno pět kategorií rozdělující kolejová vozidla určená pro přepravu cestujících. V mém případě se jedná o vlakové jednotky, které spadají do kategorie P – II.

4.1 Souřadnicový systém vozu

Souřadnicový systém vozu je znázorněn na obrázku č. 4.1. Podélná osa X je orientována ve stejném směru, jako je směr jízdy vozu. Zatížení v ní vzniká od zrychlování a brzdění vozu. Příčná osa vozu Y je ve vodorovné rovině kolmo k ose X jako doplněk pravotočivého souřadnicového systému. Zatížení v ní vzniká při průjezdu zatáčky od odstředivé síly. Svislá osa vozu Z je směřující vzhůru. V ní zatížení vzniká od vyrovnávání nerovnosti tratě.



Obrázek č. 4.1 - Souřadnicový systém vozu [13]

4.2 Hodnoty gravitačního zrychlení pro kategorii P – II

Hodnoty gravitačního zrychlení v jednotlivých osách pro mou kategorii P – II jsou vyjmuty z normy a zapsány do tabulky č. 3.

Tabulka č. 3- Hodnoty gravitačního zrychlení dle ČSN EN 12663-1+A1 [13]

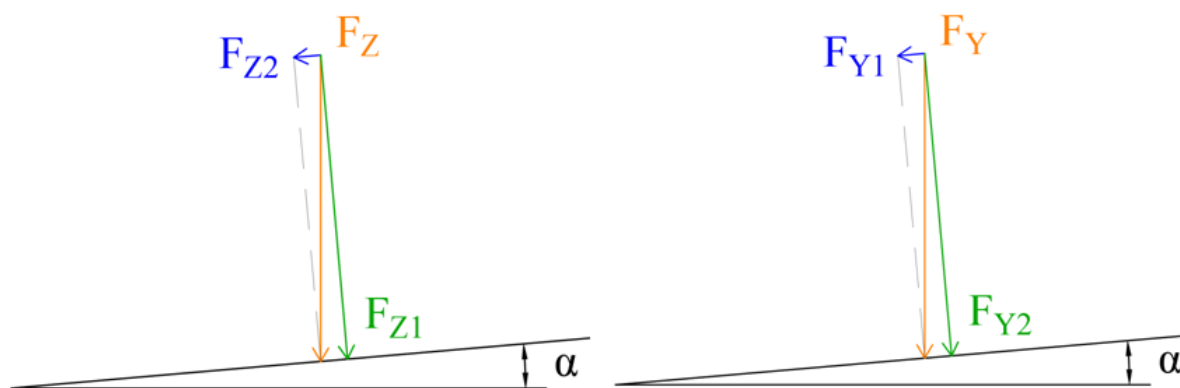
Hodnoty gravitačního zrychlení v jednotlivých osách		
X	Y	Z
$\pm 3 \cdot g$	$\pm 1 \cdot g$	$\pm 3 \cdot g$

5 Pevnostní analýza

Velkoobjemovou polici podrobím zatížením vzniklých od uložených zavazadel v jednotlivých osách, které přepočítám přes gravitační zrychlení dle normy ČSN EN 12663-1+A1 uvedené v tabulce č. 3. K simulaci těchto zatížených využiji pevnostní analýzu v programu Inventor Professional 2018. Ten mi následně pomocí grafického znázornění vykreslí napětí a deformace v jednotlivých místech modelu.

5.1 Stanovení zatížení od zavazadla

K zatížení v ose X a Y uvažuji s hmotností zavazadla, která působí v ose Z s jedním gravitačním zrychlením g . Na obrázku č. 5.1 je znázorněné rozložení sil v ose Z a Y, z důvodu nakloněné úložné části police.



Obrázek č. 5.1 - Rozložení sil v ose Z a Y

Známé hodnoty:

- Hmotnost zavazadla $m_z = 30 \text{ kg}$
- Gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
- Úhel sklonu zavazadla $\alpha = 5^\circ$

Zatížení v ose X

$$F_X = 2 \cdot m_z \cdot 3 \cdot g = 2 \cdot 30 \cdot 3 \cdot 9,81 = \mathbf{1765,8 \text{ N}} \quad (5.1)$$

$$F'_Z = m_z \cdot g = 30 \cdot 9,81 = \mathbf{294,3 \text{ N}} \quad (5.2)$$

$$F'_{Z1} = F'_Z \cdot \cos \alpha = 294,3 \cdot \cos 5 = \mathbf{293,2 \text{ N}} \quad (5.3)$$

$$F'_{Z2} = F'_Z \cdot \sin \alpha = 294,3 \cdot \sin 5 = \mathbf{25,65 \text{ N}} \quad (5.4)$$

Zatížení v ose Y

$$F_Y = m_z \cdot g = 30 \cdot 1 \cdot 9,81 = \mathbf{294,3\ N} \quad (5.5)$$

$$F_{Y1} = \frac{F_Y}{\cos \alpha} + F'_{Z2} = \frac{588,6}{\cos 5} + 25,65 = \mathbf{321,1\ N} \quad (5.6)$$

$$F_{Y2} = F_Y \cdot \tan \alpha + F'_{Z1} = 588,6 \cdot \tan 5 + 293,2 = \mathbf{319\ N} \quad (5.7)$$

Zatížení v ose Z

$$F_Z = m_z \cdot 3 \cdot g = 30 \cdot 3 \cdot 9,81 = \mathbf{882,9\ N} \quad (5.8)$$

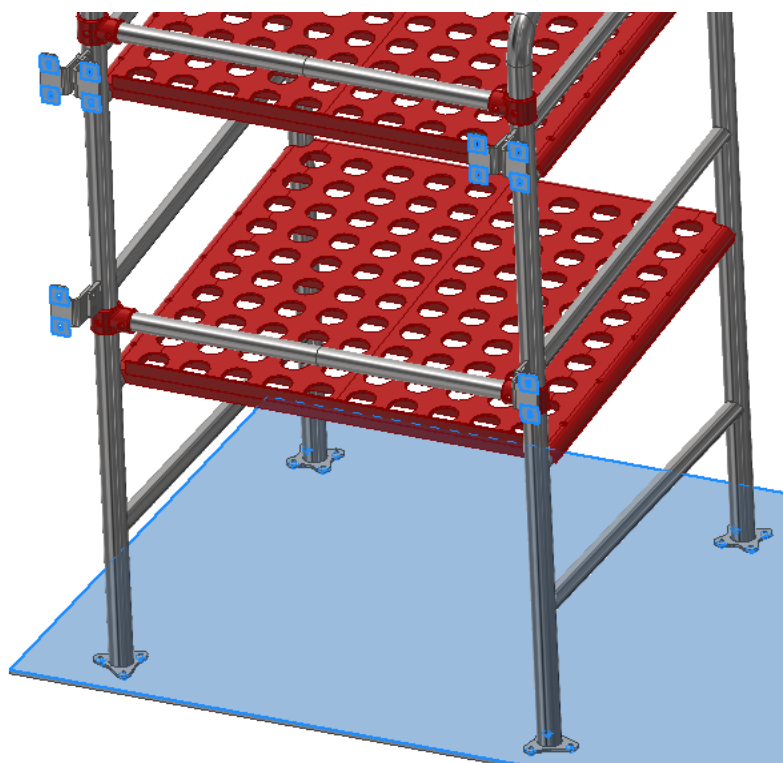
$$F_{Z1} = F_Z \cdot \cos \alpha = 882,9 \cdot \cos 5 = \mathbf{879,54\ N} \quad (5.9)$$

$$F_{Z2} = F_Z \cdot \sin \alpha = 882,9 \cdot \sin 5 = \mathbf{76,95\ N} \quad (5.10)$$

5.2 Nastavení parametrů v pevnostní analýze

a) Nastavení okrajových podmínek

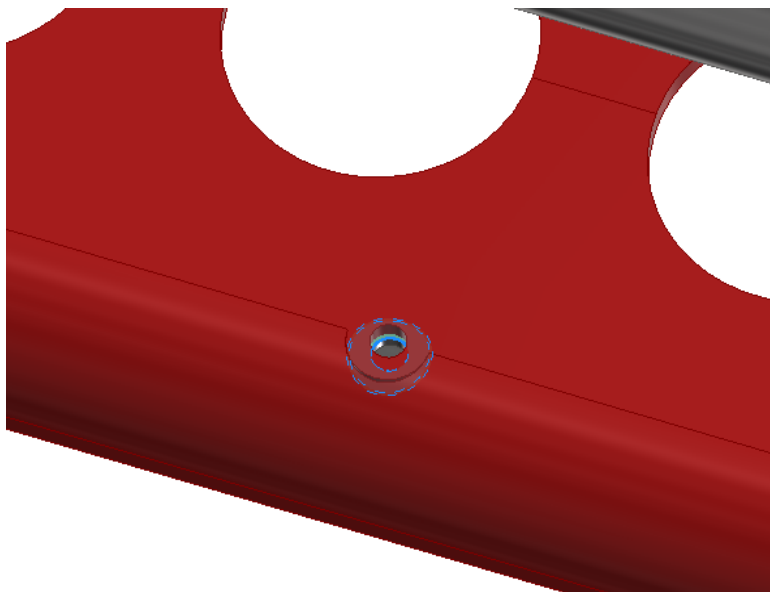
Okrajové podmínky mají za úkol ukotvení modelu v prostoru, tak aby se simulace přiblížila skutečným provozním podmínkám, které mohou nastat během provozu. Proto volím pevnou vazbu na podlahu ve voze a na plochách o velikost izolační podložky na uchycovacích konzolách, o kterou se opírají. Pevné vazby jsou znázorněné na obrázku č. 5.2.



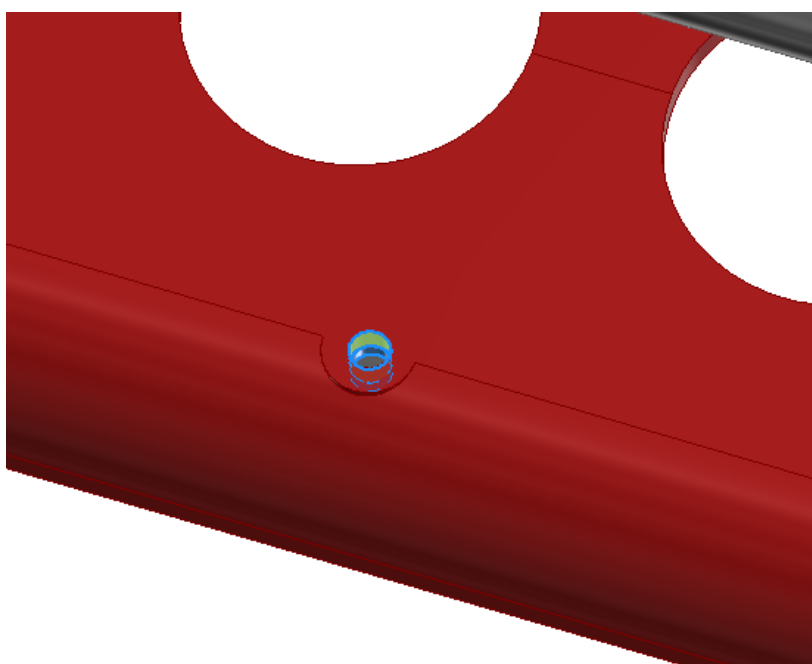
Obrázek č. 5.2 - Pevná vazba

b) Nastavení dotyků

Rámy police jsou tvořeny z několika součástí, mezi kterými je zaveden vázaný dotyk, jelikož se jedná o svařenec. U všech ostatních dílů police jsem zvolil mezi nimi dotyk separace. Dále v okolí děr pro šroubové spoje jsem vytvořil plochy na dílech proti sobě, které odpovídají velikosti k sobě sevřených ploch těmito spoji. Tyto plochy mají vůči sobě vázaný dotyk zobrazený na obrázku č. 5.3. Nepřítomnost šroubových spojů jsem nahradil v otvorech vázaným dotykem zobrazeným na obrázku č. 5.4.



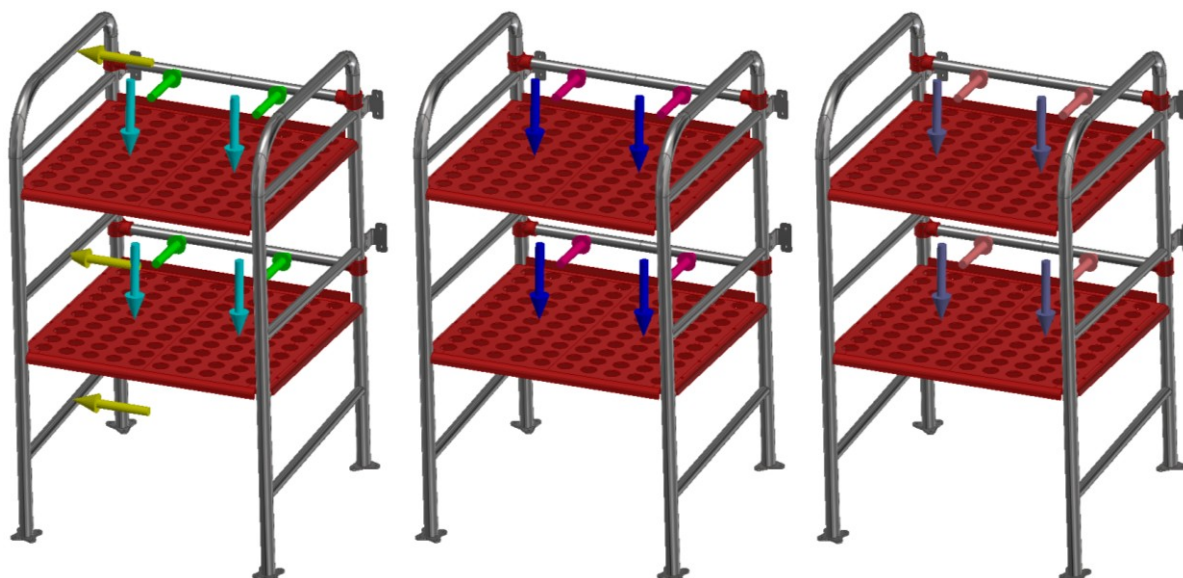
Obrázek č. 5.3 - Vázaný dotyk na plochách šroubového spoje



Obrázek č. 5.4 - Zatížení police v jednotlivých osách

c) Zavedení zatížení police

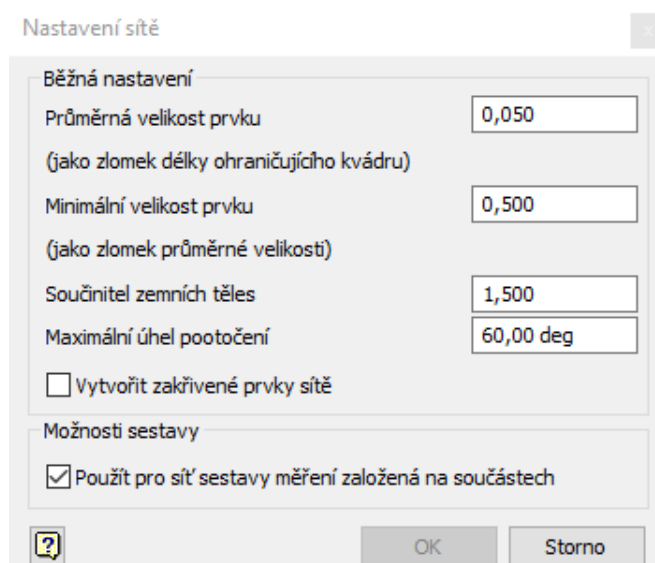
Na obrázku č. 5.5 jsou zavedeny zatížení pro jednotlivé osy, které jsem spočítal výše. Společně se zatížením od zavazadel zavádím gravitaci.



Obrázek č. 5.5 - Zatížení police v ose X, Y, Z

d) Nastavení sítě

Pro přesnější výsledky nastavuji jemnou síť, kterou lze vidět na obrázku č. 5.6. V okolí otvorů pro šroubové spoje nastavuji lokální zjemnění sítě kvůli přesnějším výsledkům. Na obrázku č. 5.7 lze vidět nastavená síť na modelu s počtem prvků a uzlů.



Obrázek č. 5.6 - Nastavení sítě



Obrázek č. 5.7 - Použitá síť na modelu

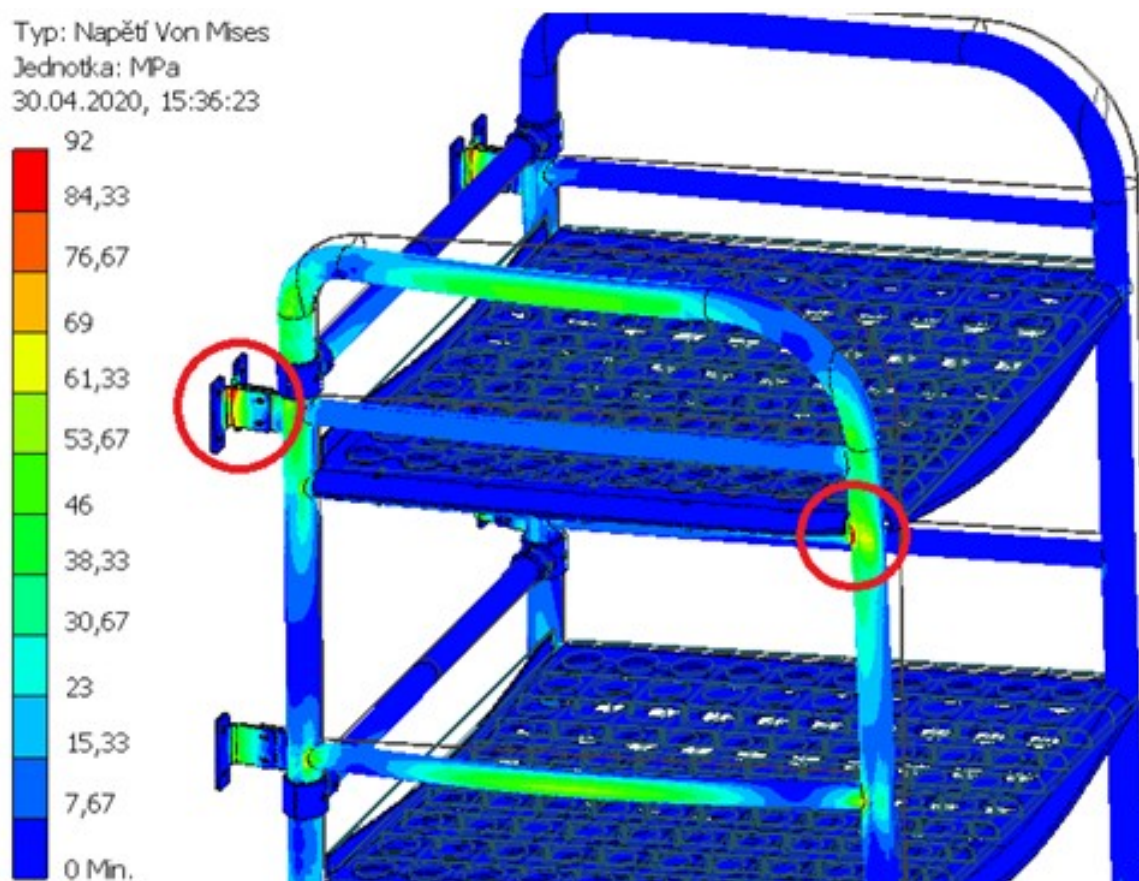
5.3 Výsledek analýzy

Po spočítání zatížení působícího na polici a nastavení všech potřebných parametrů jsem nechal Inventor vykreslit grafy napětí a deformace v jednotlivých osách. Tyto grafy jsou uvedeny v této podkapitole.

1. Výsledky v ose X

Napětí na ocelových dílech

Největší vzniklé napětí na ocelových dílech police zatížené v ose X je viditelné na obrázku č. 5.8. Napětí zde dosahuje hodnoty 92 MPa, které se nachází na dvou místech. Prvním místem je uchycovací konzola v horní rovině. Druhé místo je v pravém svaru mezi vnější trubkou a trubkou nesoucí úložnou část v horním patře.



Obrázek č. 5.8 - Napětí na ocelových dílech v ose X

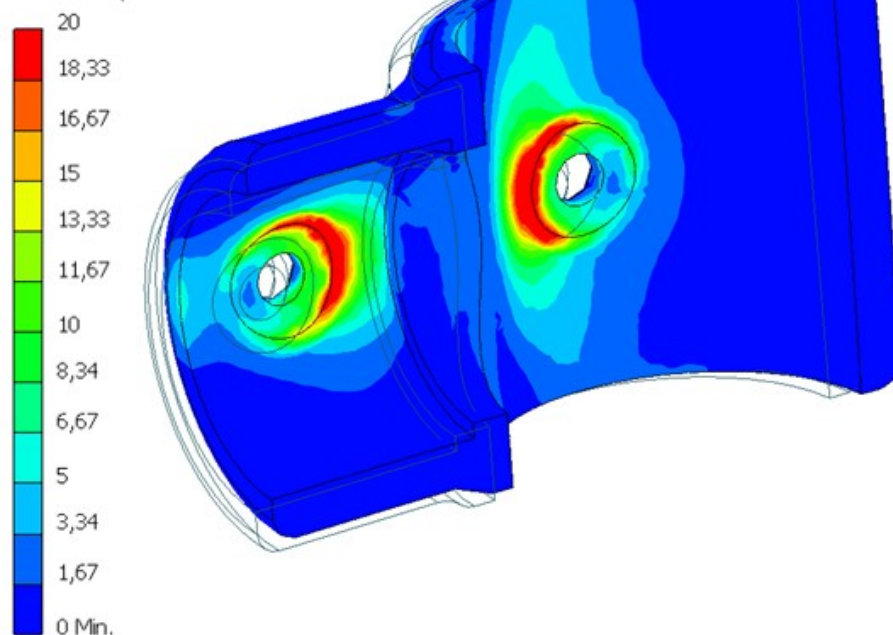
Napětí na plastových dílech

Největší napětí na plastovém díle vzniká na levé straně v trubkové T sponě právě na obrázku č. 5.9. Hodnota napětí ve sponě je 20 MPa.

Deformace police

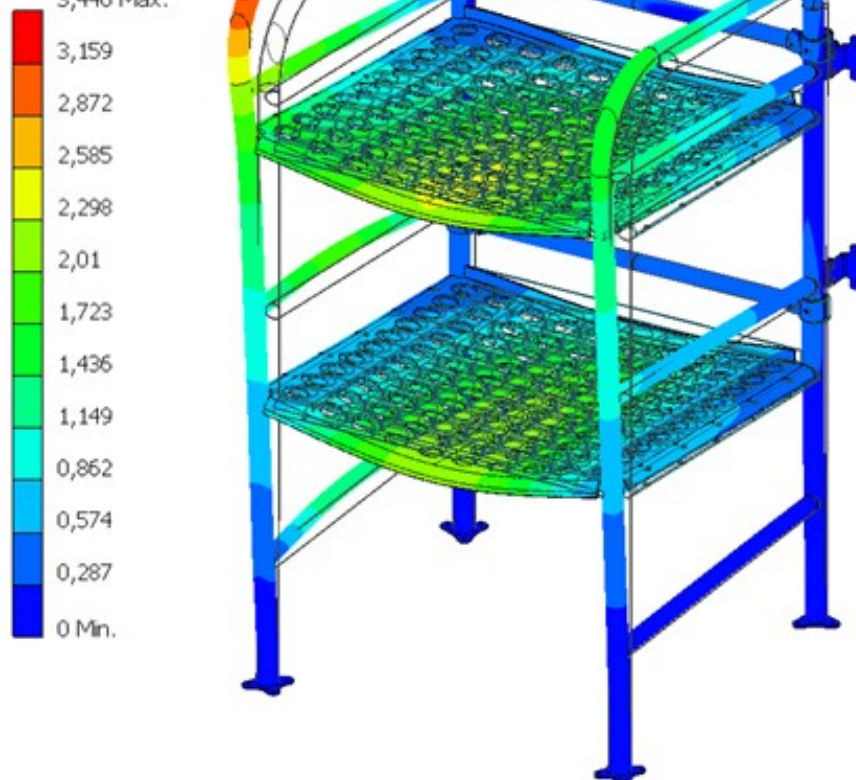
Největší deformace police na obrázku č. 5.10 vzniká na ocelovém bočním rámu v horní části. Deformace zde dosahuje hodnoty 3,446 mm.

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
30.04.2020, 15:50:26



Obrázek č. 5.9 - Napětí na plastovém díle v ose X

Typ: Posunutí
Jednotka: mm
30.04.2020, 15:32:31
3,446 Max.

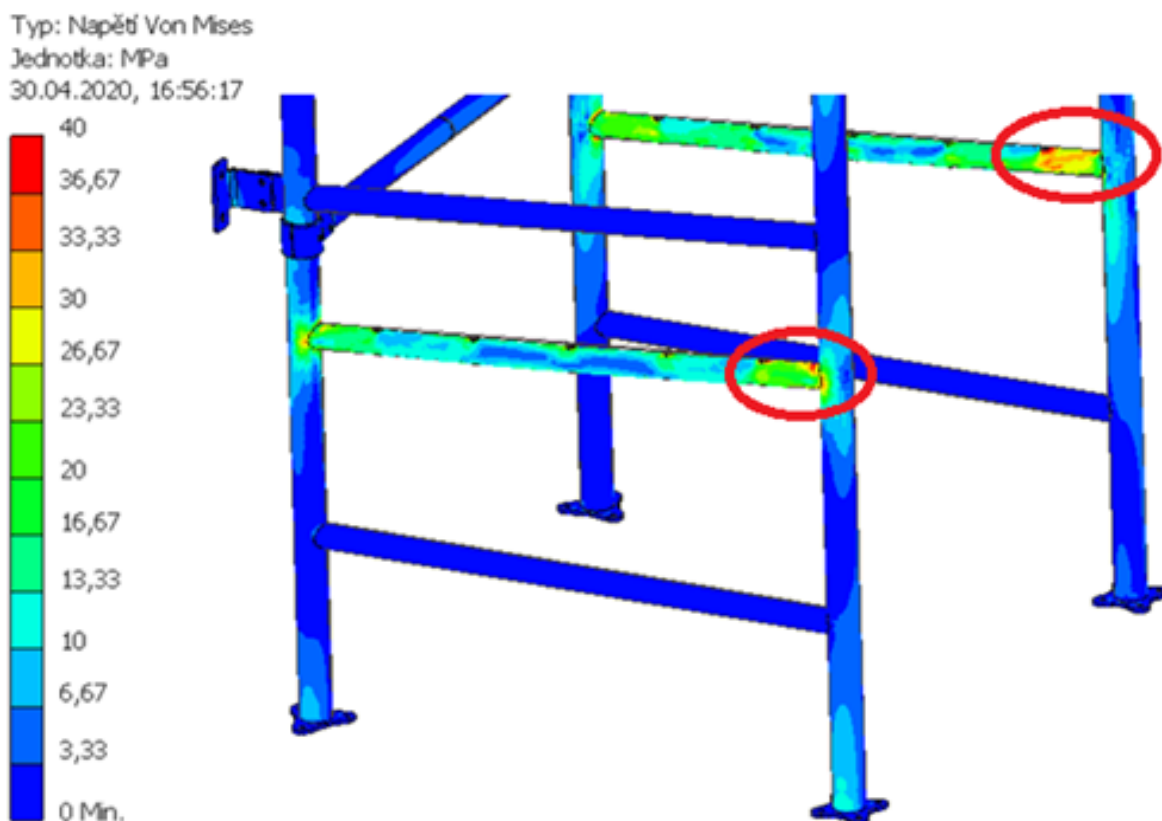


Obrázek č. 5.10 - Deformace police v ose X

2. Výsledky v ose Z

Napětí na ocelových dílech

Na ocelových dílech vzniká největší napětí na obou bočních rámech v druhém patře na obrázku č. 5.11. Toto napětí je v přední části na trubkách nesoucí úložnou část s hodnotou 40 MPa.



Obrázek č. 5.11 - Napětí na ocelových dílech v ose Z

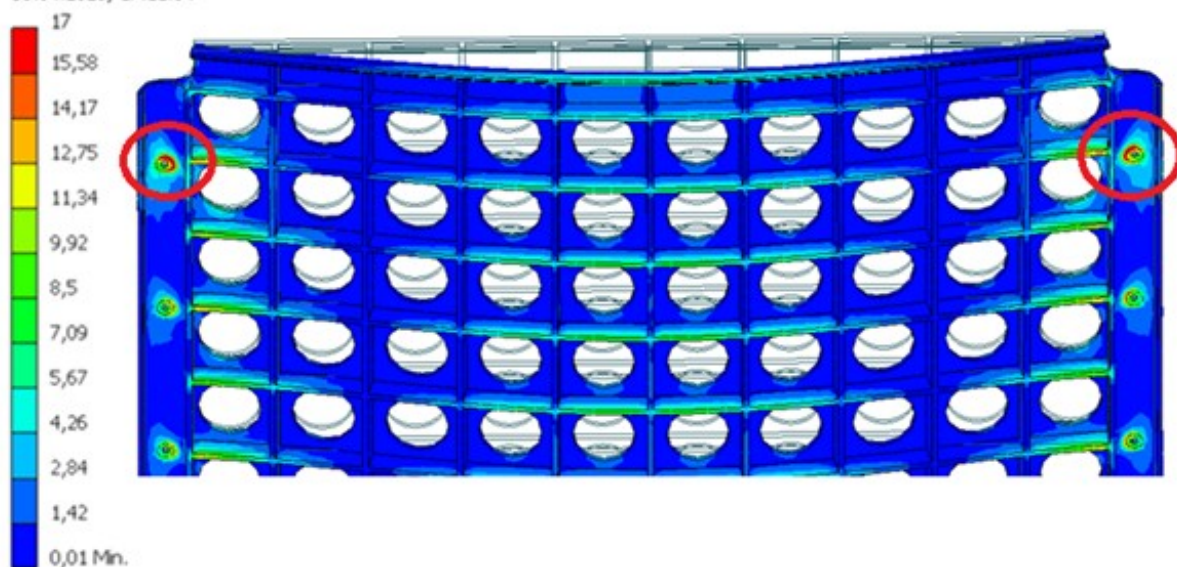
Napětí na plastových dílech

Největší napětí je na úložné části v přední části v okolí děr pro připevnění k bočním rámcům zobrazených na obrázku č. 5.12. Napětí okolo těchto děr dosahuje hodnota 17 MPa.

Deformace police

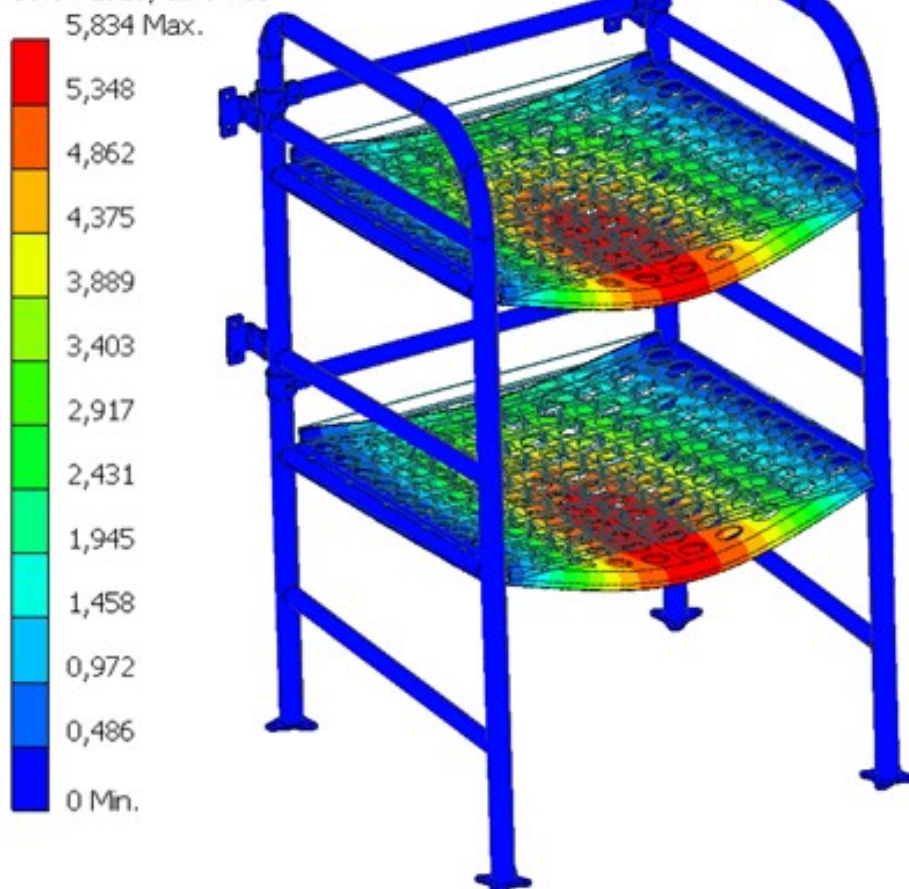
Největší deformace police je na obrázku č. 5.13 vzniklé na obou úložných částech. Deformace na nich dosahuje hodnoty 5,348 mm.

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
30.04.2020, 17:11:04



Obrázek č. 5.12 - Napětí na plastovém díle v ose Z

Typ: Posunutí
Jednotka: mm
30.04.2020, 16:54:33

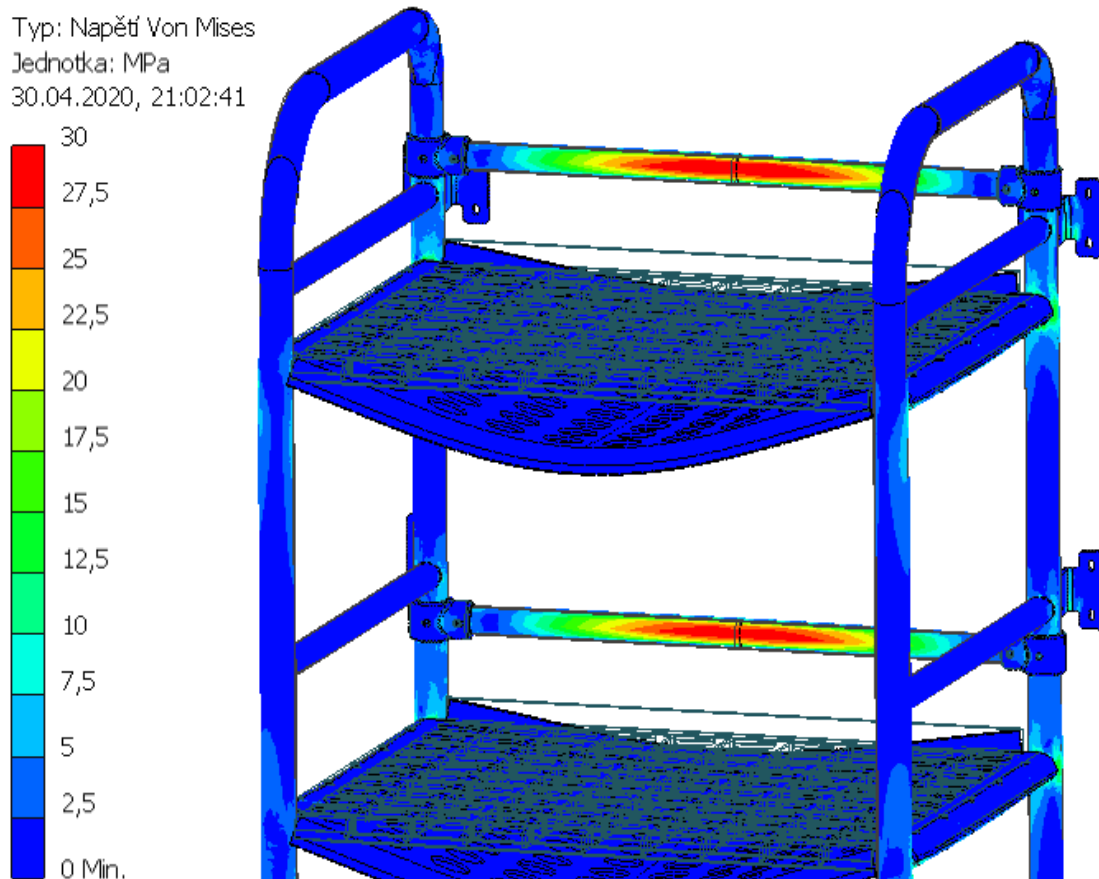


Obrázek č. 5.13 - Deformace police v ose Z

3. Výsledky v ose Y

Napětí na ocelových dílech

Zde vzniká největší hodnota napětí na obou opěrných trubkách v zadní části police. Maximální hodnota napětí na nich dosahuje 30 MPa. Vzniklé napětí je zobrazeno na obrázku č. 5.14.



Obrázek č. 5.14 - Napětí na ocelových dílech v ose Y

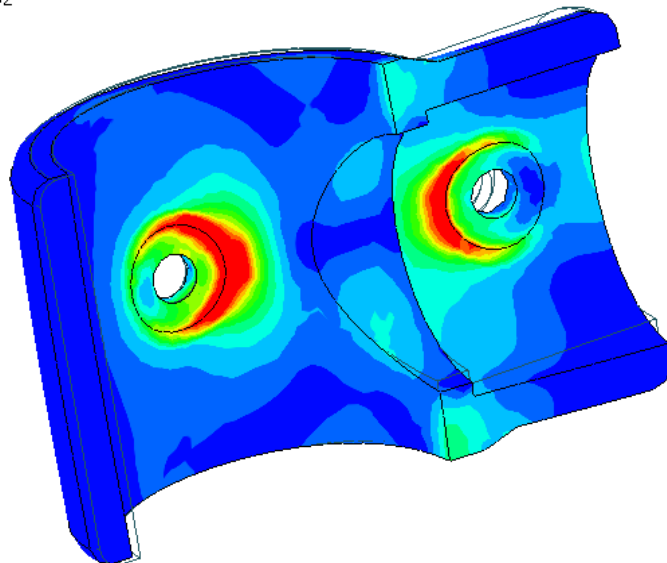
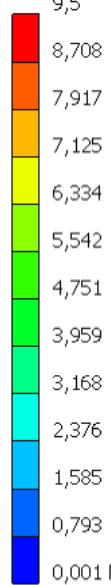
Napětí na plastových dílech

Podobně jako u zatížení v ose X i zde je maximální napětí na zadní trubkové T sponě zobrazené na obrázku č. 5.15. Napětí má hodnotu 9,5 MPa.

Deformace police

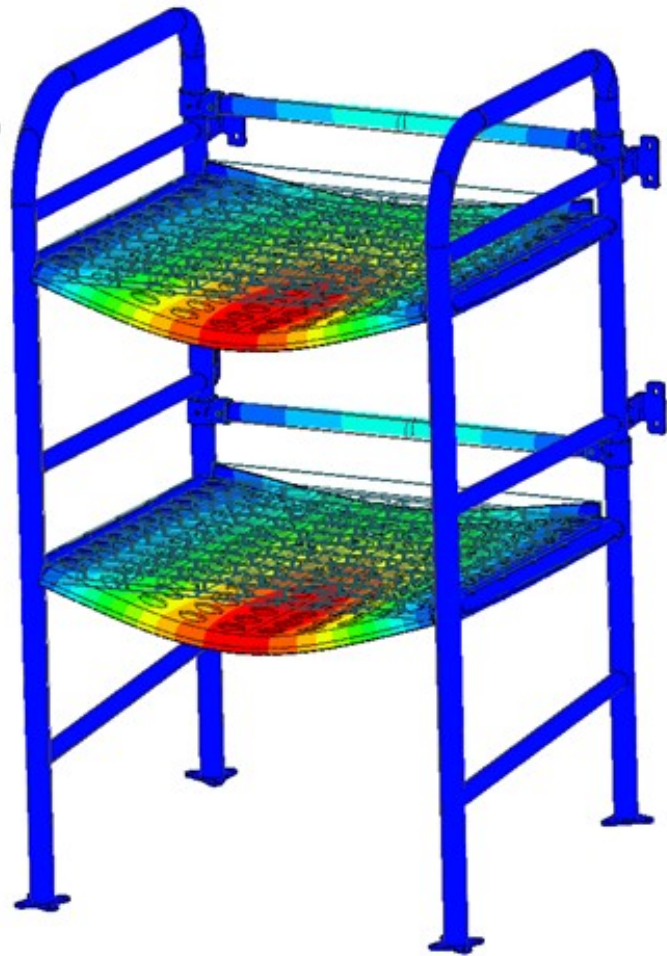
Největší deformace police obrázek č. 5.16 vzniká na obou úložných částech. Deformace na nich dosahuje hodnoty 2,235 mm.

Typ: Napětí Von Mises
 Jednotka: MPa
 30.04.2020, 21:09:52



Obrázek č. 5.15 - Napětí na plastovém díle v ose Y

Typ: Posunutí
 Jednotka: mm
 30.04.2020, 20:59:19



Obrázek č. 5.16 - Deformace police v ose Y

5.4 Výpočet bezpečnosti

Jako poslední věc v této kapitole provedu výpočet bezpečnosti police pro největší napětí na ocelových a plastových dílech. Největší napětí ocelových dílů vzniká při zatížení v ose X, kde dosahuje hodnoty 92 MPa. U plastových dílů je to v té samé ose s hodnotou napětí 20 MPa.

Bezpečnost ocelových dílů

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{\max o}} = \frac{195}{92} = \mathbf{2,12} \quad (5.11)$$

Bezpečnost plastových dílů

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{\max p}} = \frac{65}{20} = \mathbf{3,25} \quad (5.12)$$

Nejnižší hodnota bezpečnosti police byla vypočtena na ocelových dílech s hodnotou 2,12. Tato hodnota bezpečnosti by měla být pro provoz police zcela dostatečná.

6 Výpočet uchycení velkoobjemové police

Uchycení police k vozu je podrobně popsána v předchozí kapitule. V této kapitole se zaměřuju na stanovení velikosti zatížení na spojích mezi polici a vozem v jednotlivých osách dle normy ČSN EN 12663-1+A1.

6.1 Stanovení velikosti zatížení dle normy ČSN EN 12663-1+A1

Velikost zatížení v jednotlivých osách tvoří v první řadě samotná hmotnost konstrukce police a následně hmotnost uložených zavazadel v polici. Toto zatížení opět upravím podle gravitačního zrychlení stanoveným normou ČSN EN 12663-1+A, jako v předešlé kapitole.

Celková hmotnost konstrukce police je $m_p = 63,2$ kg, hmotnost uložených zavazadel je 180 kg. S touto hmotností zavazadel počítám pouze při zatížení vzniklém v ose X, z důvodu uložených dvou zavazadel ve spodním patře, která polici v ose Z a Y nijak nezatěžují. V těchto osách počítám s hmotností zavazadel 120 kg.

Zatížení v ose X

$$F_X = (m_p + 6 \cdot m_z) \cdot 3 \cdot g = (63,2 + 6 \cdot 30) \cdot 3 \cdot 9,81 = \mathbf{7157,4\ N} \quad (6.1)$$

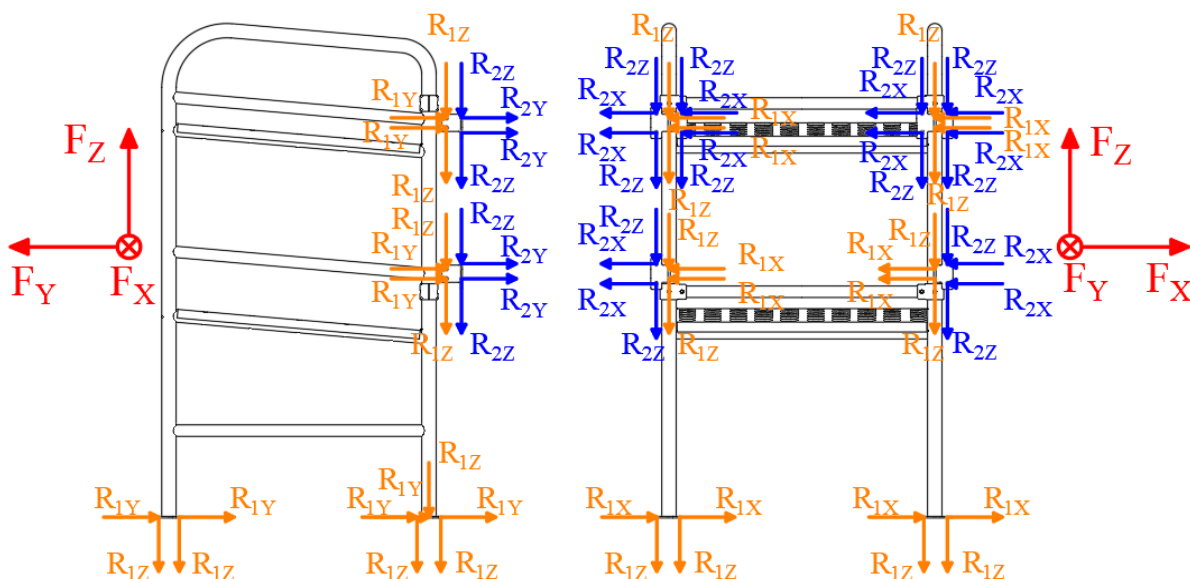
Zatížení v ose Y

$$F_Y = (m_p + 4 \cdot m_z) \cdot g = (63,2 + 4 \cdot 30) \cdot 1 \cdot 9,81 = \mathbf{1797,2\ N} \quad (6.2)$$

Zatížení v ose Z

$$F_Z = (m_p + 4 \cdot m_z) \cdot 3 \cdot g = (63,2 + 4 \cdot 30) \cdot 3 \cdot 9,81 = \mathbf{5391,6\ N} \quad (6.3)$$

Na obrázku č. 6.1 je znázorněno zatížení od police, do jednotlivých spojů jsem zavedl od tohoto zatížení reakce. Police je uchycena pomocí dvanácti šroubů k C – drážkám, osmi šroubů k uchycovacím konzolám a čtrnácti vrtů k podlaze. Zatížení se rozloží mezi dva šroubové spoje a vruty. Proto počítám se dvěma různými reakcemi vzniklých ve šroubových spojích. Z těchto dvou reakcí zavádím do vrtů reakci s větší hodnotou. Pro zjednodušení výpočtů předpokládám rovnoměrné rozložení zatížení ve všech osách.



Obrázek č. 6.1 - Reakce ve spojích

a) Výpočet reakcí R_1 v jednotlivých osách

Reakce R_1 jsou zavedeny mezi osm šroubů a čtrnáct vrtů.

$$R_{1x} = \frac{F_x}{22} = \frac{7157,4}{22} = 325,3 \text{ N} \quad (6.4)$$

$$R_{1y} = \frac{F_y}{22} = \frac{1797,2}{22} = 81,7 \text{ N} \quad (6.5)$$

$$R_{1z} = \frac{F_z}{22} = \frac{5391,6}{22} = 245,1 \text{ N} \quad (6.6)$$

b) Výpočet reakcí R_2 v jednotlivých osách

Reakce R_2 jsou zavedeny mezi dvanáct šroubů a čtrnáct vrtů.

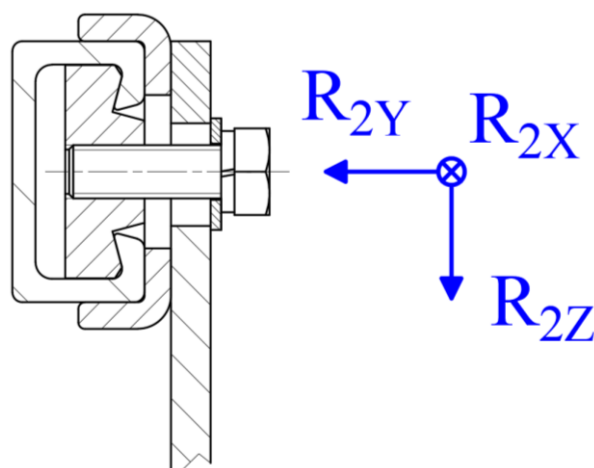
$$R_{2x} = \frac{F_x}{26} = \frac{7157,4}{26} = 275,3 \text{ N} \quad (6.7)$$

$$R_{2y} = \frac{F_y}{26} = \frac{1797,2}{26} = 69,2 \text{ N} \quad (6.8)$$

$$R_{2z} = \frac{F_z}{26} = \frac{5391,6}{26} = 207,4 \text{ N} \quad (6.9)$$

6.2 Spojení uchycovací konzoly s C – drážkou

Šroubový spoj mezi C – drážkou a upínací konzolou je znázorněn na obrázku č. 6.2 tvoří ho kámen, pružná podložka, izolační podložka, vymezovací podložka a šroub. Největší namáhání na šroubu vzniká od reakce R_{2X} , která působí kolmo na osu šroubu. Tu je zapotřebí přepočítat na předepjatou osovou sílu. Poté je šroub současně namáhaný osovou předepjatou silou na tah a od utahovací síly na krut. Pevnostní kontrolu šroubu provedu podle Guesta. Potřebné parametry šroubu jsou uvedeny v tabulce č. 4.



Obrázek č. 6.2 - Šroubový spoj v C – drážce

Tabulka č. 4 Parametry šroubového spoje M8x1[14,15]

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Velký průměr závitu	d	8	mm
Střední průměr závitu	d ₂	7,35	mm
Malý průměr závitu	d ₃	6,773	mm
Malý průměr závitu matice	D ₁	6,917	mm
Stoupání závitu	P	1	mm
Úhel profilu závitu	β	60	°
Součinitel tření v závitu	f _z	0,2	–
Bezpečnost proti prokluzu spojovaných součástí	k	3	–
Mez kluzu	R _e	230	MPa
Statická bezpečnost	k _s	1,5	–
Dovolený měrný tlak na závitu	p _D	50	MPa

Ověřené samosvornosti

Úhel stoupání závitu

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\pi \cdot 7,35} \right) = 2,48^\circ \quad (6.10)$$

Redukovaný třecí úhel

$$\varphi' = \tan^{-1} \left(\frac{f_z}{\cos \frac{\beta}{2}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{0,2}{\cos \frac{60}{2}} \right) = 13^\circ \quad (6.11)$$

Podmínka samosvornosti je splněna $\psi \leq \varphi$

Pevnostní kontrola šroubu

Předpětí v ose šroubu

$$R_{2x} \leq F_T \rightarrow R_{2x} \leq F_o \cdot f$$
$$F_o = \frac{R_{2x} \cdot k}{f} = \frac{275,3 \cdot 3}{0,4} = 2064,6 \text{ N} \quad (6.12)$$

F_Ttřecí síla [N]

F_osíla předpětí [N]

fsoučinitel tření spojovaných součástí (ocel/plast – 0,4) [N]

Utahovací síla na šroub

$$F_z = F_o \cdot \tan(\psi + \varphi') = 2064,6 \cdot \tan(2,48 + 13) = 571,9 \text{ N} \quad (6.13)$$

Napětí v krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{571,9 \cdot \frac{7,35}{2}}{\frac{\pi \cdot 6,773^3}{16}} = 34,5 \text{ MPa} \quad (6.14)$$

Napětí v tahu

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{2064,6}{\frac{\pi \cdot 6,773^2}{4}} = 57,3 \text{ MPa} \quad (6.15)$$

Redukované napětí dle Guesta

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{57,3^2 + 4 \cdot 34,5^2} = \mathbf{89,6 \text{ MPa}} \quad (6.16)$$

Výpočet statické bezpečnosti

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{230}{89,6} = \mathbf{2,57} \quad (6.17)$$
$$\mathbf{2,57 > 1,5}$$

Pevnostní podmínka šroubu je splněna.

Kontrola tlaku v závitu

Kontrola výšky matice

$$z = \frac{h}{P} = \frac{10}{1} = 10 \quad (6.18)$$

h..... výška matice [mm]

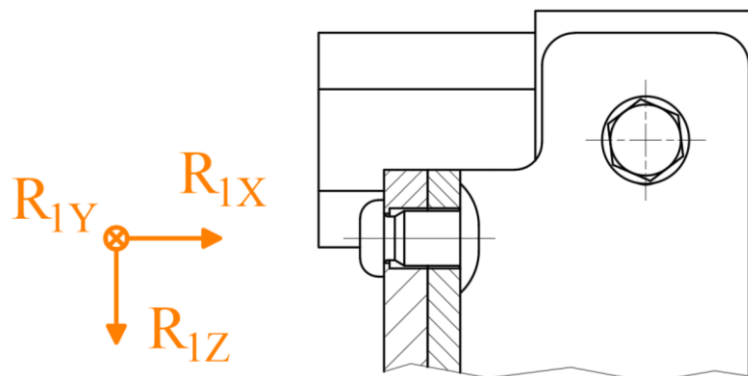
Tlak v závitu

$$p = \frac{F_o}{\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot z} = \frac{2064,6}{\pi \cdot 7,35 \cdot \frac{8 - 6,917}{2} \cdot 10} = \mathbf{16,5 \text{ MPa}} \quad (6.19)$$
$$\mathbf{50 > 16,5}$$

Podmínka tlaku v závitu je splněna.

6.3 Spojení mezi uchycovací konzolou a policí

Šroubový spoj mezi upínací konzolou a policí je znázorněn na obrázku č. 6.3, tvoří ho šroub a matice s vnitřním šestihranem. Zde vzniká největší zatížení od reakce R_{1Z} působící opět kolmo na osu šroubu. Podobně jako u předchozího případu je šroub namáhaný kombinovaným namáháním na tah a krut. Parametry a koeficienty bezpečnosti šroubu jsou totožné s předchozím výpočtem, které jsou uvedeny v tabulce č. 4. Z tohoto důvodu je podmínka samosvornosti splněna a nemusí se znovu počítat.



Obrázek č. 6.3 - Šroubový spoj mezi policí a uchycovací konzolou

Pevnostní kontrola šroubu

Předpětí v ose šroubu

$$R_{1x} \leq F_T \rightarrow R_{1x} \leq F_o \cdot f$$

$$F_o = \frac{R_{1x} \cdot k}{f} = \frac{325,3 \cdot 3}{0,6} = \mathbf{1225,4 \text{ N}} \quad (6.20)$$

Utahovací síla na šroub

$$F_z = F_o \cdot \tan(\psi + \phi') = 1225,4 \cdot \tan(2,48 + 13) = \mathbf{429,6 \text{ N}} \quad (6.21)$$

Napětí v krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_z \cdot \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} = \frac{429,6 \cdot \frac{7,35}{2}}{\frac{\pi \cdot 6,773^3}{16}} = \mathbf{25,9 \text{ MPa}} \quad (6.22)$$

Napětí v tahu

$$\sigma_t = \frac{F}{S} = \frac{F_o}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{1225,4}{\frac{\pi \cdot 6,773^2}{4}} = \mathbf{34 \text{ MPa}} \quad (6.23)$$

Redukované napětí dle Guesta

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{34^2 + 4 \cdot 25,9^2} = \mathbf{61,9 \text{ MPa}} \quad (6.24)$$

Výpočet statické bezpečnosti

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{230}{61,9} = 3,7 \quad (6.25)$$
$$3,7 > 1,5$$

Pevnostní podmínka šroubu je splněna.

Kontrola tlaku v závitu

Kontrola výšky matice

$$z = \frac{h}{P} = \frac{10}{1} = 10 \quad (6.26)$$

Tlak v závitu

$$p = \frac{F_o}{\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot z} = \frac{1225,4}{\pi \cdot 7,35 \cdot \frac{8 - 6,917}{2} \cdot 10} = 9,8 \text{ MPa} \quad (6.27)$$
$$50 > 9,8$$

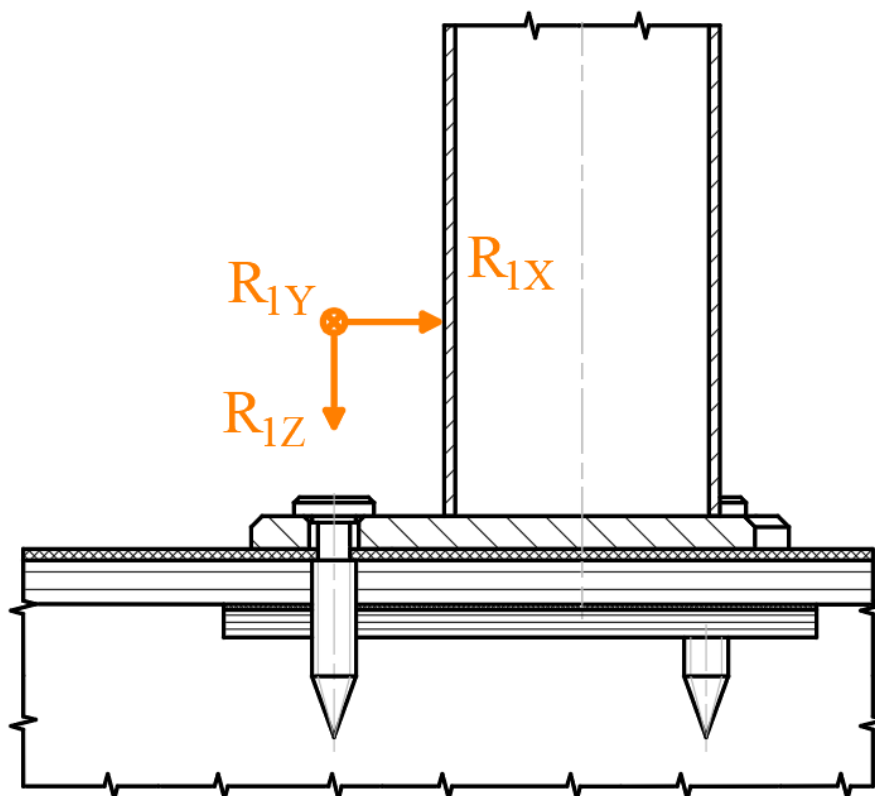
Podmínka tlaku v závitu je splněna.

6.4 Spojení mezi policí a podlahou vozu

Spoj mezi podlahou vozu a policí je znázorněn na obrázku č. 6.4, lze na něm vidět vrut zapuštěny do podlahy. Namáhání na vrutu vzniká od dvou reakcí. Toto namáhání nepůsobí současně od obou reakcí, ale mění se v průběhu jízdy. Od reakce R_{1X} je vrut namáhán na střih a od reakce R_{1Z} je namáhán tahem v ose. Potřebné parametry vrutu jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5 Parametry vrutu HBSPEVO840 [16]

Název	Značka	Hodnota	Jednotka
Jmenovitý průměr	d_{1v}	8	mm
Průměr jádra	d_{2v}	5,4	mm
Průměr předvrtání	d_{pv}	5	mm
Dovolené zatížení ve střihu ocel–dřevo silná deska	$R_{v,k}$	3,66	kN
Dovolené zatížení v tahu ocel–dřevo silná deska	$R_{a,k}$	3,47	kN



Obrázek č. 6.4 - Spoj vrutem podlahy a police

Pevnostní kontrola vrutu

Protože vrut není v podlaze zavrtaný celou svojí délkou, ale pouze z poloviny budu počítat pouze s jeho poloviční únosností ve střihu a tahu. Pro splnění pevnostních podmínek vrutu musí být zatížení od reakcí menší než dovolené zatížení vrutu.

Kontrola na střih

$$R_{1X} \leq \frac{R_{v,k}}{2} = \frac{3660}{2} = 1830 \quad (6.28)$$

$$325,3 < 1830$$

Pevnostní podmínka vrutu ve střihu je splněna.

Kontrola na tah

$$R_{1Z} \leq \frac{R_{a,k}}{2} = \frac{3470}{2} = 1735 \quad (6.29)$$

$$245,1 < 1735$$

Pevnostní podmínka vrutu v tahu je splněna.

7 Závěr

V bakalářské práci jsem se nejprve zabýval teoretickou částí, ve které jsem popisoval možné současné způsoby uložení zavazadel ve vlacích. U každého způsobu jsem zmínil i jeho hlavní výhody a nevýhody využití ve vlaku.

V praktické části jsem vytvořil tři návrhy velkoobjemové police. Následně jsem stručně popsal jejich konstrukci. Nakonec jsem z nich vybral jeden finální návrh. Finální návrh jsem vybíral s ohledem na jeho praktické využití, jednoduchosti a hmotnosti konstrukce. Tomu jsem poté podrobně popsal jeho jednotlivé konstrukční části, zvolil vhodný materiál a popsal jsem jeho uchycení k vozu.

V následující části jsem popsal normu ČSN EN 12663-1+A, ve které je uvedený souřadnicový systém vlaku a zatížení vznikající během jízdy. Poté jsem se zaměřil na pevnostní analýzu police, jestli zvládne plně naložená odolat zatížením, která mohou nastat během jízdy. Zatížení jsem spočítal dle normy ČSN EN 12663-1+A. V programu Inventor jsem nastavil všechny potřebné parametry pro pevnostní analýzu. Inventor následně graficky znázornil průběhy napětí a deformace vzniklých na polici. Nejvyšší napětí se vyskytlo v ose X, které bylo na úrovni 92 MPa na ocelovém rámu police a na plastové trubkové T sponě na úrovni 20 MPa. Největší deformace police nastane v ose Z o velikosti 5,8 mm na úložné části.

V poslední části jsem kontroloval spoje mezi polici a vozem. Zatížení v těchto spojích jsem opět počítal podle normy ČSN EN 12663-1+A. Po zjištění zatížení jsem vypočítal reakce v jednotlivých spojích. Poté jsem provedl pevnostní výpočty šroubových spojů podle Guesta a kontroly tlaku v závitech. Tím jsem zjistil, že šrouby jsou navrženy s dostatečnou bezpečností. Dále jsem provedl pevnostní výpočet vrutu. U nich jsem přepočítal reakce a porovnal je s dovoleným zatížením vzniklým ve vrutech.

8 Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mému konzultantovi ze společnosti Škoda Vagonka panu Ing. Radimu Sýkorovi za konzultace a veškeré podklady, které mi pomohly během tvorby mé práce.

9 Seznam použité literatury

- [1] *Packiteasy* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://packiteasy.hu/termek/utazo-taska-uzlembereknek/>
- [2] *Travelsupport* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://travelsupport.eu/blog/en/travel-guides/train-prague-to-berlin/>
- [3] *Palmbeachpost* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://malled.blog.mypalmbeachpost.com/2017/01/12/5-things-to-look-for-in-brightlines-new-passenger-trains/>
- [4] *Tripadvisor* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.tripadvisor.com/LocationPhotoDirectLink-g187791-d12717563-i274899263-Frecciarossa-Rome_Lazio.html
- [5] *Aroundtheworld* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://liburankelilingdunia.blogspot.com/2011/11/shinkansen.html>
- [6] *Princeoftravel* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://princeoftravel.com/blog/review-trans-mongolian-railway-second-class-ulaanbaatar-beijing>
- [7] *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:KINTETSU50000_LOCKER.JPG
- [8] *Turistika* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/clanky/ceske-drahy-zkvalitnuji-zazitek-cestovani-vlakem/foto?id=294297>
- [9] *Wikimedia Commons* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amtrak_Viewliner_II_Baggage_Car_Interior.jpg
- [10] *Bolzano* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyroby-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyroby-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
- [11] *Techportál* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRjhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w
- [12] *Omnexus* [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyphenylene-sulfide-pps-plastic-guide>
-

-
- [13] ČSN EN 12663-1+A1 (280320): *Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel - Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy)*. 2015.
- [14] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Páté vydání. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-84.
- [15] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro 2. a 3. ročník bakalářského studia*. Ostrava, 2015.
- [16] VRUTY A SPOJOVACÍ PROSTŘEDKY DO DŘEVA [online]. [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: https://issuu.com/rothoblaas/docs/vruty_a_spojovaci__prostr_edky_do_d

10 Seznam příloh

- BP - SAJ0046 - 00 - Velkoobjemová police
- BP - SAJ0046 - 01 - Boční rám pravý
- BP - SAJ0046 - 01.1 - Dosedací plech přední
- BP - SAJ0046 - 01.2 - Dosedací plech zadní
- BP - SAJ0046 - 01.3 - Uchycovací plech